NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 08402643 8

NOTICE

SUR

L'APPAREIL D'INDUCTION

DE RUHMKORFF

Extrait des mémoires de la Société impériale des sciences naturelles de Cherbourg ;
3e volume.

Digitized by Google

PARIS — IMPRIMERIE DE J. CLAYE
RUE SAINT-BENOIT, 7

NOTICE

SUR L'APPAREIL

D'INDUCTION ÉLECTRIQUE

DE RUHMKORFF

ET LES EXPÉRIENCES QUE L'ON PEUT FAIRE AVEC CET INSTRUMENT

PAR

LE Vte THÉODORE DU MONCEL

DIRECTEUR PERPÉTUEL DE LA SOCIÉTÉ IMPÉRIALE DES SCIENCES NATURELLES DE CHERBOURG
MEMBRE DE PLUSIEURS SOCIÉTÉS SAVANTES FRANÇAISES ET ÉTRANGÈRES

PRIX : 3 FRANCS

ASTOR LIBRARY
NEW-YORK

PARIS

LIBRAIRIE DE L. HACHETTE ET Cie

RUE PIERRE SARRAZIN, 14

PRÈS DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE

1855

NOTICE

SUR LA

MACHINE DE RUHMKORFF

Lorsqu'un courant voltaïque circule en spirale autour d'un morceau de fer, d'acier ou d'une substance magnétique quelconque, il l'aimante, et cette aimantation, pour certains corps doués d'une force coercitive non persistante, tels que le fer, disparaît aussitôt que le courant a cessé de circuler dans la spirale métallique qui lui a servi de conducteur. Ce phénomène, constaté pour la première fois par MM. Ampère et Arago, peu de temps après la découverte par OErsted des réactions exercées par les courants sur l'aiguille aimantée, a été le point de départ de l'électromagnétisme et de la plupart des applications mécaniques de l'électricité.

En raisonnant d'après le système des réciproques, on aurait pu déduire *à priori* de ce phénomène, qu'un aimant persistant réagissant sur un circuit fermé disposé en spirale, devait déterminer dans ce circuit un courant électrique; mais ce ne fut que dix ans plus tard, c'est-à-dire vers 1830, que l'illustre physicien anglais Faraday constata le premier

ce phénomène et en détermina les différents caractères. Il est résulté, en effet, des expériences nombreuses que ce savant entreprit à ce sujet, que si on enfonce un barreau aimanté à l'intérieur d'une bobine recouverte de fil métallique suffisamment isolé, on provoque dans ce fil un courant très-énergique; mais, chose assez particulière et que la théorie n'aurait pu faire prévoir, ce courant n'est qu'éphémère, et disparaît aussitôt après avoir pris naissance pour faire place à un autre courant également éphémère qui se manifeste au moment même où l'on retire l'aimant de la bobine. Ce dernier courant est dirigé en sens inverse du premier, et si l'on compare la direction de ces deux courants à celle du courant magnétique qui leur a donné naissance, on reconnaît qu'elle est précisément la même pour le second et inverse pour le premier. De là le nom de courant *direct* donné au courant qui se manifeste secondairement, et le nom de courant *inverse* donné au courant qui se manifeste primitivement. Ainsi, par le fait seul qu'on approche ou qu'on éloigne un aimant persistant d'un circuit disposé en spirale, on donne naissance à deux courants contraires qui se manifestent distinctement l'un de l'autre.

Ce principe une fois reconnu, il ne s'agissait plus, pour obtenir une manifestation électrique continue, que de combiner mécaniquement les divers éléments producteurs de ces courants éphémères ou d'*induction*, de manière à les redresser et à les faire se succéder les uns aux autres sans interruption. C'est ce que firent plusieurs mécaniciens, entre autres MM. Clarke, Pixii, Page, etc.; et pour cela ils n'eurent qu'à faire tourner devant les pôles d'un aimant persistant en fer à cheval, un électro-aimant à deux branches enroulé d'une assez grande quantité de fil pour permettre à l'action inductive de se développer dans toute son énergie. Avec cette disposition, en effet, l'électro-aimant

en s'approchant des pôles de l'aimant fixe s'aimantait, et en devenant aimant il créait dans le fil qui l'entourait un courant inverse. Au contraire, quand l'électro-aimant s'éloignait, l'aimantation cessait et un courant direct naissait dans le fil. Comme les extrémités du circuit induit, c'est-à-dire du fil de l'électro-aimant, étaient en rapport avec un commutateur à renversement de pôles placé sur l'axe de rotation, les deux courants traversaient le circuit toujours dans un même sens. Telles sont les machines magnéto-électriques dont la disposition, du reste, a été variée d'une foule de manières.

Après avoir reconnu l'effet *inducteur* des aimants sur les circuits fermés enroulés en hélice, Faraday examina les réactions d'induction des courants voltaïques placés dans les mêmes conditions que les aimants, c'est-à-dire circulant dans un circuit enroulé lui-même en spirale. Il retrouva des effets complétements analogues. Ainsi au moment où le courant inducteur (le courant circulant dans l'hélice enveloppée) était fermé, un courant induit naissait dans le fil enveloppant et se trouvait dirigé, par rapport au courant inducteur, dans un sens inverse. Au contraire, quand le courant inducteur était interrompu, un deuxième courant dans le même sens que lui se manifestait dans le circuit induit.

Voulant obtenir de cette source d'électricité d'induction des effets électriques continus, M. Masson, en 1836, pensa à employer comme interrupteur du courant inducteur une roue métallique sur les dents de laquelle il faisait frotter une lame de ressort. Cette roue était mise en rapport avec le fil du circuit inducteur, tandis que le ressort frotteur était en relation avec l'un des pôles de la pile, et comme l'autre pôle de cette pile correspondait directement lui-même avec le circuit inducteur, les fermetures et les interruptions du courant voltaïque se succédaient à des inter-

valles d'autant plus rapprochés que le ressort était tourné plus vite. M. Masson put constater alors que les courants créés avaient une tension considérable et que les effets physiologiques qu'ils exerçaient pouvaient être appliqués utilement dans la médecine. Plusieurs perfectionnements, entre autres la substitution de l'interrupteur de Delarive à la roue dentée, furent ensuite successivement apportés aux appareils électro-médicaux, de sorte que ceux-ci constituèrent bientôt une des applications les plus importantes de la science électrique.

La tension considérable qu'il avait remarquée dans les courants d'induction issus des réactions de la pile, préoccupa tellement M. Masson dès les premiers temps de sa découverte, qu'il songea à en tirer parti pour obtenir les effets de l'électricité statique. Vers l'année 1842, en effet, il fit construire, conjointement avec M. Bréguet, un appareil assez considérable qui lui démontra que ses espérances étaient parfaitement fondées; car, malgré le mauvais isolement des fils et bien que l'extra-courant, c'est-à-dire le courant d'induction créé dans le circuit inducteur lui-même, eût été seul employé, il put obtenir dans le vide une étincelle assez énergique pour accuser l'inégal pouvoir lumineux des deux pôles du circuit. Il parvint même à charger un condensateur et à illuminer un fil de platine placé dans l'œuf électrique [1], mais il ne put cependant obtenir d'étincelle à distance à l'air libre.

Après ces curieuses recherches, la question théorique se trouvait donc résolue, et l'on était en droit d'admettre que l'électricité voltaïque, grâce à ses réactions d'induction, pouvait être transformée en électricité statique; mais le problème n'en était pas pour cela résolu pratiquement, et

1. C'est ce que constate un Mémoire publié par lui dans les Annales de physique et de chimie (3e série, t. IV, pag. 129, année 1842.)

les machines électriques, malgré leurs caprices, n'étaient pas encore détrônées.

En 1851, M. Ruhmkorff, habile constructeur fort connu par tous les physiciens, mettant à profit les expériences et les observations de MM. Masson et Bréguet, chercha à combiner l'appareil d'induction de manière à ce qu'il pût recevoir, sans la perdre, l'électricité statique fournie par la réaction du courant voltaïque. Il s'appliqua pour cela au parfait isolement des fils, qu'il noya pour ainsi dire dans de la gomme laque, et prit le soin de faire aboutir sur des colonnes de verre les extrémités du fil induit, pensant avec raison que le bois qui isole l'électricité voltaïque n'isole pas suffisamment l'électricité statique. D'un autre côté, ayant constaté que ce n'était pas la longueur ou le développement des spires de l'hélice induite qui entraînait l'accroissement de l'effet électrique, mais bien leur multiplicité, il restreignit considérablement les dimensions de l'appareil Bréguet-Masson, et ne chercha à augmenter les bobines d'induction que dans le sens de leur longueur. Considérant, en outre, que d'après la manière même dont s'opérait l'induction, une très-grande résistance de la part du circuit induit était la condition indispensable pour la tension de l'électricité qui s'y trouvait développée, il prit pour ce circuit induit du fil très-fin et très-long (dans ses grands appareils la longueur de ce fil varie de 8 à 10 kilomètres). Enfin, étant convaincu que la réaction des courants magnétiques était plus utile au développement du courant induit que la réaction seule du courant inducteur, il enfonça à l'intérieur de l'hélice inductrice un faisceau de fils de fer dont les courants magnétiques individuels, en s'ajoutant, réagissaient plus énergiquement que le seul courant créé dans un cylindre unique de fer. Comme interrupteur du courant inducteur, il employa le petit mécanisme de Delarive ; il le disposa de manière à ce qu'il pût être réglé.

Ainsi construit, l'appareil d'induction a fourni des résultats surprenants; l'étincelle a pu être échangée à distance, non-seulement par la disjonction du circuit induit, mais encore en la provoquant avec un corps étranger au circuit. Échangée dans le vide entre les deux boules de l'œuf électrique, cette étincelle a pu remplir le ballon et présenter ce magnifique phénomène de la lumière stratifiée, dont nous aurons occasion de parler plus tard.

Tel était le point où les appareils d'induction étaient arrivés quand M. Fizeau, faisant des recherches de son côté sur ces effets d'induction, trouva le moyen de les amplifier encore par l'interposition, dans le courant inducteur, d'un simple condensateur. Dès lors les étincelles purent être échangées à près de deux centimètres de distance à l'air libre, sous la forme de dards bruyants et crépitants.

Avec un semblable appareil, les commotions sont tellement violentes, que M. Quet, faisant un jour des expériences dans un appartement obscur et s'étant approché trop près des fils de l'instrument, fut renversé sur le coup et aurait pu être foudroyé sans l'arrivée de M. Ruhmkorff, qui vint heureusement à temps. Il dut, à la suite de cette violente secousse, garder quelque temps le lit : la pile ne se composait pourtant que de six éléments.

Il est temps de décrire l'appareil de Ruhmkorff ainsi modifié, et nous allons le faire le plus clairement qu'il nous sera possible.

Plusieurs dispositions plus ou moins élégantes ont été prises par cet habile constructeur. Dans les unes, la bobine d'induction est couchée horizontalement, et l'interrupteur est placé sur le côté à l'un des bouts; dans les autres, cette bobine est disposée verticalement, et l'interrupteur est au-dessous. Cette dernière disposition est la plus élégante; mais depuis que M. Ruhmkorff a reconnu l'efficacité des

longues bobines, il a repris l'autre disposition, dont voici le dessin.

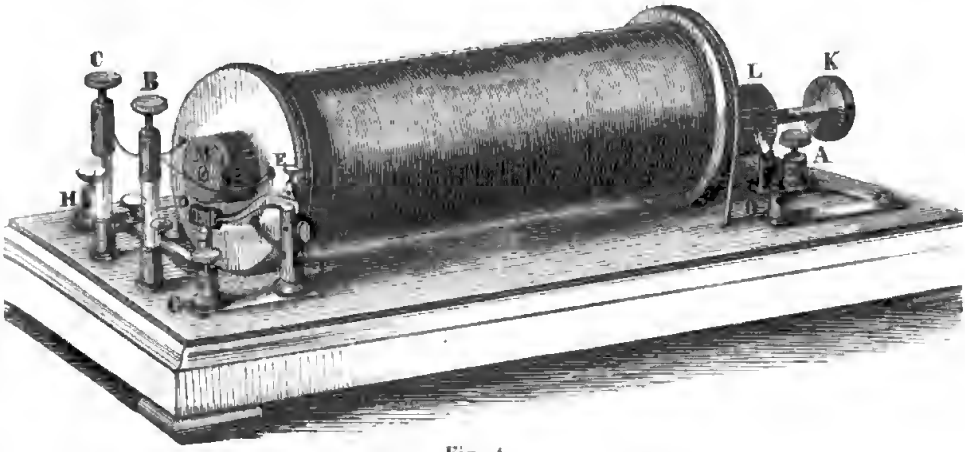


Fig. 1.

Le corps de la bobine, dans ces appareils, est ordinairement en carton mince et les rebords en verre, ou bien, si les rebords sont en bois, le tout est garni d'une épaisse couche de gomme laque. Sur cette bobine se trouvent enroulées, comme nous l'avons dit, deux hélices métalliques parfaitement isolées, l'une composée de gros fil (d'environ 2 millimètres), l'autre composée de fil fin (le n° 16 du commerce). Les extrémités de ces hélices ressortent des rebords de la bobine par des tubes en verre, si ces rebords sont en bois, ou simplement par des trous, s'ils sont en verre. Dans notre dessin, les extrémités du gros fil viennent s'attacher à des colonnes de cuivre I et O, tandis que les extrémités du fil fin aboutissent aux boutons B et C montés sur des colonnes de verre.

Les points d'attache des rhéophores de la pile sont placés en A et A′ des deux côtés du commutateur KL; ils communiquent à des ressorts qui, en rencontrant les plaques conductrices du commutateur, renvoient le courant dans l'hélice de gros fil par des lames métalliques disposées en conséquence. On peut voir la disposition de ces lames dans la

figure 6, qui représente deux de ces appareils d'induction accouplés, vus en plan. Ces communications métalliques se prolongent du côté de l'interrupteur de l'appareil pour se terminer par deux boutons d'attache G et H (fig. 1), où l'on peut recevoir l'extra courant, c'est-à-dire le courant d'induction créé dans le circuit inducteur lui-même, et qui permettent d'adapter à l'appareil tout système d'interrupteur que l'on veut.

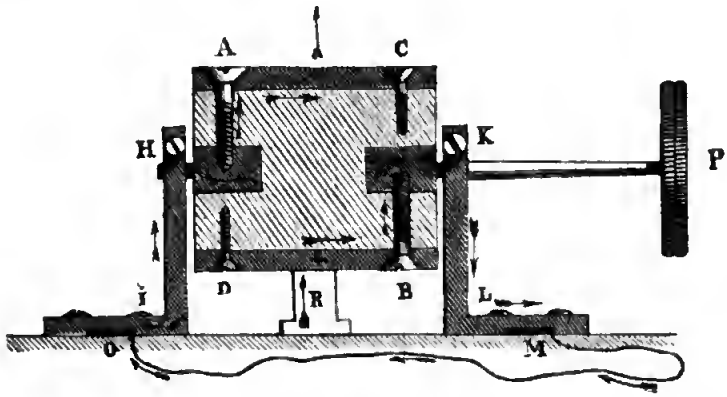


Fig. 2.

Le commutateur de M. Ruhmkorff que nous représentons fig. 2 mérite une description particulière. Il se compose d'un cylindre d'ivoire soutenu sur deux équerres en cuivre par deux tourillons E et G fixés solidement aux deux extrémités de son axe. Sur ce cylindre se trouvent adaptées deux lames métalliques AC BD, légèrement convexes qui sont fixées sur l'ivoire par deux vis d'inégale grosseur. La plus grosse de ces vis A et B traverse l'ivoire et vient se visser dans le tourillon qui lui correspond, l'autre vis reste noyée dans le corps de l'ivoire; enfin les équerres de cuivre servant de support à l'appareil sont en communication avec les lames M et O du circuit inducteur. Voici alors ce qui se passe quand avec le bouton P on tourne le commutateur.

Si la lame BD touche le ressort R′ en rapport avec le pôle

positif de la pile, le courant va de R′ en BD, suit la vis B, entre dans le tourillon E, descend par l'équerre KL et traverse le circuit inducteur en entrant par la lame M et en ressortant par la lame O, il remonte alors l'équerre H, entre dans le tourillon G, suit la vis A, et va regagner le pôle négatif par la lame AC et le ressort R.

Si la lame BD au contraire touche le ressort R, le courant entre par la lame AC et ressort par la lame BD. Donc le courant est bien renversé quand on incline le commutateur dans un sens ou dans l'autre.

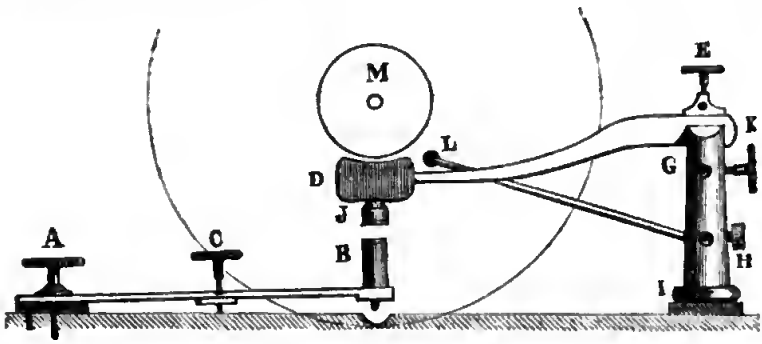


Fig. 3.

L'interrupteur que l'on peut distinguer en ED dans la fig. 1, est représenté avec ses détails fig. 3. Dans ces deux figures, le faisceau de fils de fer qui se trouve dans la bobine est représenté en M, il se termine comme on le voit par une rondelle de fer doux qui est spécialement destinée à agir sur l'interrupteur. Celui-ci se compose essentiellement d'un levier ED, terminé par une plaque de fer D, qu'on appelle le *marteau*, et d'un ressort AB, terminé par un cylindre massif de cuivre B, que l'on appelle *l'enclume*. Ce ressort fixé par la vis A sur l'une des lames servant de conducteur au courant inducteur, peut être plus ou moins élevé au-dessus de la planche par la vis de pression C. L'enclume B porte soudée à sa partie supérieure une petite rondelle de platine bien polie. Il en est de même de l'appendice J placé sous le

marteau, et qui en temps ordinaire est en contact avec l'enclume.

Le levier ED du marteau est fendu en G d'une encoche angulaire qui, en s'enfourchant sur un chevalet en forme d'angle dièdre construit à l'extrémité de la colonne GI, lui sert d'articulation. Les vis K et E servent à fixer un petit fil d'argent destiné à établir une communication métallique parfaite entre le marteau et la colonne GI. Enfin la vis H sert de point d'attache au fil HL de l'hélice conductrice qui sort de ce côté. Le jeu de cet interrupteur est facile à comprendre, quand l'appendice J du marteau est en contact avec l'enclume B; le courant est fermé, puisque le fil LH est en rapport direct avec l'un des pôles de la pile et que le ressort AB communique à l'autre pôle. Sous l'influence de ce courant, le faisceau de fils de fer placé à l'intérieur de la bobine se trouve aimanté et le marteau D est soulevé. Mais étant soulevé, ce marteau rompt la communication métallique entre l'appendice J et l'enclume B; le courant cesse donc de circuler et partant, le fer n'étant plus aimanté laisse retomber le marteau qui rétablit alors le courant, ce qui motive une nouvelle ascension du marteau, puis une nouvelle interruption du courant et ainsi de suite avec une accélération d'autant plus grande que la distance entre le marteau D et la rondelle M est plus petite.

Le condensateur dont M. Fizeau a découvert la fonction importante, comme nous l'avons vu, a été combiné et adapté à l'appareil de la manière la plus heureuse par M. Ruhmkorff. Il est formé de deux feuilles de papier d'étain collées des deux côtés d'une bande de taffetas gommé d'environ 12 pieds de longueur, et repliées entre deux autres bandes de ce même taffetas de manière à pouvoir être introduites dans l'intérieur de la planche servant de support à l'appareil. Les armures de ce condensateur sont en rapport avec les boutons d'attache G et H (fig. 1), où peut être recueilli l'extracou-

rant. Le rôle que ce condensateur joue dans cette action physique serait, d'après M. Fizeau, de *condenser* et de détruire, par un effet statique, l'électricité de tension ou d'induction qui crée précisément l'extracourant dans le fil inducteur et qui réagit sur le circuit induit en sens inverse du courant voltaïque. Quand ce condensateur est interposé, on voit effectivement l'étincelle de l'interrupteur diminuer d'intensité et le courant induit prendre au contraire une bien plus grande extension. Suivant M. Poggendorff, la fonction du condensateur s'expliquerait de la manière suivante. Au moment où le circuit de la pile est interrompu, de l'électricité de tension se trouve accumulée aux deux extrémités du fil inducteur; elle y est retenue par la résistance de l'air, et réagit sur le fluide qui se meut dans le fil induit; elle a pour effet d'en diminuer la tension en ralentissant l'action inductrice. Le condensateur a précisément pour effet de faire écouler cette électricité de tension, sans que pour cela le circuit de la pile se trouve fermé. On arrive au même résultat, comme l'a déjà remarqué M. Fizeau, en réunissant le marteau et l'enclume de l'interrupteur par un fil métallique d'une grande résistance. On voit ainsi que le condensateur n'a point pour effet d'augmenter la quantité d'électricité mise en mouvement dans la spirale induite; pour s'en assurer, il n'y a qu'à introduire un magnétomètre dans le circuit de cette spirale et à chercher les déviations qu'éprouve l'aiguille sous l'influence d'un courant induit unique, avec ou sans condensateur : ces déviations sont toujours égales. Ce raisonnement explique également pourquoi les effets physiologiques de l'appareil acquièrent une plus grande intensité par l'introduction du condensateur. En général, le condensateur accroît l'énergie des effets de l'instrument toutes les fois qu'entre les deux pôles il y a une résistance à vaincre; moins est grande cette résistance, moins l'effet

du condensateur devient sensible. Voilà pourquoi le phénomène des étincelles à l'air libre acquiert tant de puissance lorsqu'on emploie le condensateur, tandis que le rôle de ce dernier est presque nul quand le courant d'induction n'a à franchir que l'air très-raréfié de l'œuf électrique. Suivant M. Faraday, la réaction aurait pour effet de diminuer l'intensité du courant inducteur au moment où elle aurait de graves inconvénients. Il résulterait en effet des expériences de ce savant que dans le premier moment de la naissance d'un courant dans un fil, l'induction latérale s'effectue aux dépens de l'induction directe au sein du fil et entre ses particules, mais qu'aussitôt que la première a atteint son état maximum, alors la seconde, celle dans le fil, devient proportionnelle à l'intensité de la pile. Ainsi, si on unit les deux armures d'une bouteille de Leyde par un circuit métallique très-développé, et présentant dans les environs de ses points d'attache avec les armures de la bouteille deux points assez rapprochés pour que la résistance de l'air soit moindre que celle du fil, il arrivera que la décharge s'opérera en plus grande partie à travers l'air par ces deux points, si toutefois l'induction latérale du courant n'a pas lieu, ou, en d'autres termes, si le fil est complétement isolé au milieu de l'air. Mais si ce fil est en communication avec l'une des armures d'un condensateur, aucune étincelle ne s'apercevra entre les deux points voisins du circuit qui l'avaient provoquée dans le premier cas, et c'est pourquoi l'étincelle de l'interrupteur dans l'appareil de Rhumkorff est notablement affaiblie.

Il reste à savoir maintenant le rôle que, dans l'opinion de M. Faraday, on doit attribuer à cette condensation, et sur lequel l'illustre physicien anglais ne s'explique pas. Il dit, il est vrai, que c'est de diminuer l'intensité du courant inducteur, au moment où cette intensité aurait des inconvénients graves; mais en quoi cette diminution d'intensité serait-elle

profitable à la création du courant induit ? Est-ce par le ralentissement de vitesse de l'électricité, qui donnerait au fer magnétisé une action plus énergique ? est-ce parce que cette induction latérale exercée sur les spires de l'hélice induite serait nuisible à la création du courant induit, en le condensant à son tour ? Nous serions très-heureux que M. Faraday voulût bien s'expliquer à cet égard, car cette question du rôle du condensateur n'est pas encore bien appréciée par la majeure partie des physiciens; ce qui est certain, c'est que l'extracourant n'est pas détruit par le condensateur, car les commotions sont à peu près aussi énergiques, que le courant inducteur soit isolé de ce condensateur ou relié avec lui : il est vrai que, dans ce cas, l'on pourrait admettre que la commotion résulterait de la décharge elle-même du condensateur.

Dès l'année 1842, M. Masson, comme nous l'avons déjà dit, avait constaté qu'on pouvait charger un condensateur avec l'électricité d'induction. Il dut donc répéter avec l'appareil de Ruhmkorff les expériences qu'il avait déjà entreprises à cet égard. Il fit en effet, dans le courant de l'année 1853[1], une série d'expériences nouvelles qui l'amenèrent à conclure que, pour profiter de l'action des condensateurs chargés avec l'électricité d'induction de l'appareil de Ruhmkorff, il fallait établir entre les deux armures du condensateur une liaison telle, que la décharge par cette nouvelle voie fût plus facile que par le fil du circuit induit lui-même, ou, en d'autres termes, que la résistance offerte par cette dérivation du courant, fût moindre que celle offerte par le fil du circuit induit, afin que la décharge ne pût s'effectuer en même temps que la charge. Il mit donc les deux pôles de l'appareil de Ruhmkorff en rapport avec les deux armures d'un condensateur isolé, et, faisant partir de ces mêmes armures

1. Ces expériences sont décrites dans un Mémoire qu'il a présenté à l'Académie de Harlem, et qui a obtenu le prix.

deux fils allant aux deux branches isolées d'un excitateur de Lânes (fig. 4), il obtint, entre les deux boules de cet excitateur, lorsque celles-ci n'étaient éloignées l'une de l'autre que d'environ 1/2 centimètre, une décharge permanente surpassant d'autant plus la décharge directe de l'appareil que le condensateur était plus grand et le nombre d'éléments de la pile plus considérable. Dernièrement MM. Grove et Gassiot

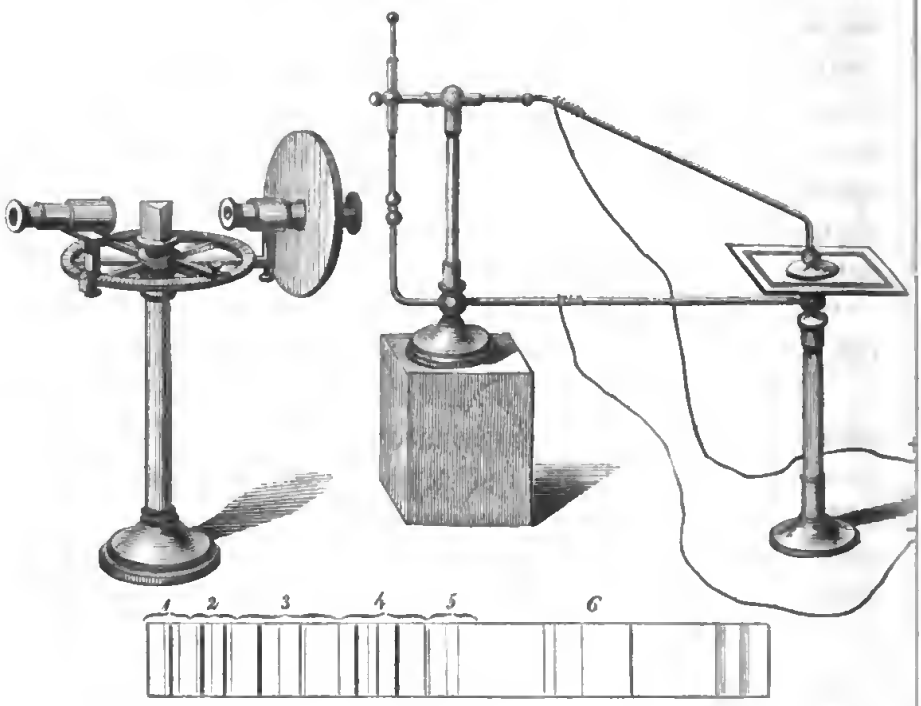


Fig. 4.

ont repris en Angleterre ces expériences sur une plus grande échelle, et ont poussé la force de la pile jusqu'à trente éléments, en employant un condensateur de près de cinq pieds anglais de surface. Ils ont reconnu que l'accroissement d'énergie et de quantité du courant induit augmentait avec la force de la pile à la condition *sine qua non* que le condensateur interposé augmentât dans le même rapport. Dans

ces conditions on obtient des résultats étonnants. Ainsi avec les trente éléments et le condensateur de cinq pieds carrés, MM. Grove et Gassiot ont vu s'élancer, entre les extrémités de l'excitateur ou les fils terminaux jouant le rôle d'excitateur, un jet volumineux d'étincelles d'un sixième de pouce de long et qui prirent même une longueur d'un pouce 1/2, lorsqu'on interposa entre les deux fils une lampe à esprit de vin. Jamais, dit M. Grove, je n'avais vu un semblable torrent de feu électrique; il produisait un bruit qu'on ne pouvait supporter longtemps sans en être grandement incommodé.

Il faut, pour que l'expérience réussisse, que le pôle extérieur du circuit induit soit uni à l'armure interne de la bouteille de Leyde, si c'est un condensateur de ce genre qu'on emploie, à moins que cette bouteille ne soit complétement isolée; car comme nous le verrons, l'électricité d'induction possède à ce pôle seul une tension suffisante pour provoquer une décharge de la part d'un conducteur isolé du circuit.

Au nombre des perfectionnements apportés à l'appareil de Ruhmkorff je ne dois pas omettre celui du professeur Cecchi de Florence qui consiste à éliminer le courant inverse et par conséquent à n'utiliser que le courant direct en ayant soin de renverser le sens du courant à chaque interruption, afin de détruire complétement le magnétisme du fer, qui atteint précisément en ces moments-là son maximum d'intensité et dont la persistance ne peut qu'être préjudiciable au développement du courant induit. D'après ce que nous assure M. Cecchi, la force de l'appareil serait augmentée dans le rapport de 1 à 20. Ce chiffre me paraît bien exagéré. [1]

1. J'avais fait construire, en 1853, un appareil d'induction dans lequel les deux courants se trouvaient redressés par le commutateur même de Delarive; mais outre que je n'avais pas obtenu plus de puissance de la part de l'appareil, j'avais constaté que les effets électriques dans les deux cas étaient exactement les mêmes, ce qui m'avait fait penser que des deux courants induits le courant direct l'emporte tellement sur l'autre

Comme complément à ces perfectionnements, il me reste à mentionner le système de M. Ryke, professeur à Leyde, qui consiste à faire pratiquer les interruptions du courant inducteur entre les deux pôles d'un électro-aimant très-puissant. On gagne, dit-il, à cette simple disposition une accroissement considérable de tension électrique.

Comme on le comprend aisément, on peut encore augmenter la force du courant induit par la combinaison, soit en tension, soit en quantité de deux ou plusieurs appareils fonctionnant isolément et envoyant leur courant dans un même sens. Mais ce moyen ne peut être employé que jusqu'à une certaine limite, et on court risque en l'employant de brûler le fil d'un des appareils; c'est en effet ce qui est arrivé à M. Masson il y a deux ans. En faisant fonctionner deux appareils sous l'influence de la même pile, on augmente également la force du courant induit résultant.

Ainsi, grâce aux perfectionnements successifs dont nous venons de parler, l'appareil d'induction voltaïque est devenu une source permanente d'électricité statique que l'on peut rendre aussi puissante qu'on le désire.

M. Poggendorff, dans un récent travail qu'il vient de publier, propose encore quelques perfectionnements, ou plutôt quelques modifications, à la construction de l'appareil de Ruhmkorff, qu'il croit indispensables pour obtenir toute la somme d'énergie dont ce genre de réaction électrique est susceptible. Je ne sais jusqu'à quel point la réalité pourra justifier la théorie. En attendant, et quoi qu'il en soit, voici ces modifications telles qu'elles ont été rapportées par M. Ch. Drion dans la *Revue de l'Instruction publique*.

qu'il en détruit tout l'effet. Des observations subséquentes m'ont démontré, du reste, qu'il n'y avait dans ces sortes de manifestations électriques qu'un seul et même courant, résultant d'abord de la séparation des fluides, et, en second lieu, de leur recomposition. (Voir mon *Traité des applications de l'Electricité*, 2 vol.)

Fil induit. — Dans les appareils ordinaires que construit M. Ruhmkorff, le fil induit constitue sur la bobine un certain nombre de couches ou assises s'étendant sur toute la longueur de la bobine; ces couches sont ordinairement en nombre pair, en sorte que les deux extrémités du fil sont reportées à la même extrémité de l'appareil. Les actions inductrices exercées sur les divers points du fil étant sensiblement les mêmes, il est évident que la tension ira en croissant du milieu vers les extrémités; qu'ainsi les deux points du fil, où la tension sera la plus forte, se trouveront, par la construction même de l'appareil, extrêmement rapprochés. Cette disposition paraît vicieuse à l'auteur; suivant lui, elle doit avoir pour effet de provoquer des décharges partielles à travers la matière isolante qui revêt les premiers et les derniers tours de spire.

Il propose, en conséquence, de partager la bobine en un certain nombre de parties par des cloisons de substance non conductrice, de recouvrir successivement avec le fil induit chaque compartiment de la bobine, mais de n'enrouler sur chacun d'eux qu'un nombre impair d'assises, afin que le fil passe régulièrement d'une subdivision à l'autre, et se termine ainsi aux deux extrémités opposées de l'appareil.

Il importe aussi, quand on veut avoir des effets de tension énergiques, de bien isoler les divers tours de spire les uns des autres, et d'isoler enfin la spirale tout entière du réservoir commun. Pour y parvenir, M. Poggendorff recommande de répandre sur le fil (préalablement entouré de soie) du blanc de baleine, de l'acide stéarique ou un mélange de cire et d'huile fortement échauffé au-dessus de son point de fusion; cette dernière précaution a pour effet d'empêcher que la matière isolante se solidifie brusquement au contact du fil conducteur, et lui permet de pénétrer profondément la couche de soie qui entoure ce dernier. Il

propose de plus d'enrouler le fil sur un cylindre de verre soutenu à ses extrémités par des montants en gutta-percha, d'entourer tout l'appareil d'une feuille de taffetas verni, et de l'assujettir sur son support à l'aide de deux forts anneaux en gutta-percha.

Enfin il pense que, pour augmenter les effets de tension, il serait préférable de donner à la bobine la forme d'un fuseau aminci vers ses deux extrémités, plutôt que celle d'un cylindre, ainsi qu'on le fait habituellement.

Spirale inductrice. — Elle se compose, dans les appareils de M. Poggendorff, de deux fils parallèles que l'on peut à volonté réunir de manière à en faire un conducteur de section double ou un fil unique de longueur double.

Faisceau de fils de fer. — L'auteur préfère aux faisceaux ordinairement employés, et qui sont formés, comme on sait, d'un certain nombre de morceaux de fils de fer assez gros et d'égale longueur, des faisceaux composés de fils beaucoup plus fins ($0^m,25$ de diamètre); il obtient ainsi des effets plus énergiques; il regarde d'ailleurs comme inutile de recouvrir chaque fil d'un vernis isolant, ainsi qu'on le fait habituellement, mais il recommande de ne pas serrer les fils trop étroitement les uns contre les autres.

Interrupteur. — Dans la plupart des appareils d'induction, l'interrupteur est une partie inséparable du restant de l'appareil; dans les bobines construites par M. Ruhmkorff, il est mis en mouvement par le faisceau de fils de fer même qu'entoure la spirale inductrice. M. Poggendorff aime mieux avoir recours à un petit électro-aimant spécial pour faire marcher l'interrupteur; il sépare du reste complétement cet électro-aimant des autres parties de l'instrument; par cette disposition, il peut à volonté placer ce système mobile, convenablement modifié, dans un liquide, sous le récipient de la machine pneumatique, etc., et produire ainsi l'interruption dans un milieu quelconque.

Condensateur. — M. Poggendorff a fait ses premières expériences uniquement avec le condensateur tel que le construit maintenant M. Ruhmkorff dans ses nouveaux appareils. Mais plus tard, l'auteur reconnut que les condensateurs construits par M. Halske, avec une simple feuille de mica (d'environ 25 centimètres de long sur 15 de large), garnie d'étain sur ses deux faces, donnent des effets qui approchent extrêmement de ceux des grands condensateurs en taffetas, sans doute parce que le peu d'épaisseur et l'absence de plis permettent de rapprocher beaucoup plus les surfaces des deux armatures. Comme il est souvent difficile de se procurer les lames de mica, M. Poggendorff a cherché à les remplacer par des lames minces d'une autre nature. Il a trouvé que des feuilles de papier à lettres, enduites d'une dissolution de cire à cacheter dans l'alcool, des feuilles de papier ciré (tel qu'on l'achète dans les pharmacies), recouvertes d'un vernis à la gomme laque, peuvent servir à faire d'excellents condensateurs.

En étudiant ces condensateurs, on est frappé de voir que l'étendue de leur surface est, pour ainsi dire, sans influence sur la distance à laquelle éclatent les étincelles d'induction. Avec une surface condensante d'un pouce carré seulement, on obtient des étincelles aussi longues qu'en employant les grands condensateurs à taffetas. Mais ces derniers l'emportent sur les condensateurs à petite surface, par la grosseur et la fréquence des étincelles qu'ils déterminent. Ils présentent d'ailleurs encore d'autres avantages que nous allons énumérer rapidement.

1° Les grands condensateurs paraissent donner des effets plus énergiques que les petits, lorsqu'on emploie deux couples voltaïques au lieu d'un seul, pour produire le courant inducteur. Il est donc probable que leur action serait beaucoup plus efficace que celle des surfaces condensantes de peu d'étendue, si l'on prenait un nombre considérable de

couples. Toutefois l'auteur n'a pas vérifié directement cette opinion, ne voulant pas risquer de détériorer ses appareils par l'emploi de courants trop énergiques.

2° Les effets du condensateur varient beaucoup avec l'intensité de l'extracourant qui prend naissance dans la spirale inductrice à chaque interruption. Ce qui précède s'applique spécialement au cas où l'extracourant est faible, c'est-à-dire au cas où la section du fil inducteur est grande et sa longeur petite par rapport à la section et à la longueur du fil induit ; mais si on augmente par degrés la longueur de la spirale traversée par le courant de la pile, les effets des petits condensateurs diminuent graduellement et deviennent presque nuls, tandis que ceux des condensateurs à grande surface demeurent constants.

3° Les dimensions du fil induit influent encore sur le mode d'action des appareils condensants. Les expériences dont il a été question jusqu'ici ont été effectuées sur un fil très-fin, ayant plus de 3.000 mètres de longueur. En opérant sur un fil environ trois fois moins long, on reconnaît que les petits condensateurs n'ont que peu ou point d'action; les plus petits d'entre eux paraissent même amoindrir les effets de l'appareil plutôt que les augmenter. Au contraire, les condensateurs à large surface renforcent visiblement encore le phénomène des étincelles.

En résumé, plus le courant de la pile est énergique, plus l'extracourant est intense, et plus le diamètre du fil induit est considérable, plus doit être grande la surface condensante. On peut ajouter encore que l'action du condensateur est d'autant plus manifeste que l'appareil est moins bien isolé.

ÉTUDE DES COURANTS INDUITS DE L'APPAREIL DE RUHMKORFF.

Pour mettre de l'ordre dans l'étude que nous allons faire des phénomènes produits par ces sortes de courants, nous allons les étudier 1° dans leur transmission dans les milieux aériformes et liquides, 2° dans leur transmission à travers les corps isolants, 3° dans leur transmission à travers les corps de conductibilité secondaire, 4° dans leur transmission dans le vide, 5° dans leurs réactions physiques et chimiques, 6° dans leurs applications.

I.

TRANSMISSION DANS LES MILIEUX AÉRIFORMES OU LIQUIDES.

Caractères de l'étincelle d'induction dans l'air. — L'aspect et les caractères de l'étincelle d'induction varient non-seulement suivant la nature des rhéophores, mais encore suivant leur forme, l'étendue des surfaces exposées à la décharge et la nature du milieu à travers lequel elle s'échange.

A l'air libre, si les rhéophores sont tous les deux de même nature et de même grandeur, les étincelles ne varient que par leur intensité et leur longueur. Avec de grandes surfaces elles s'échangent de moins loin qu'avec des excitateurs pointus, bien que par leurs crépitations elles semblent accuser une plus grande énergie.

Avec des rhéophores métalliques, des fils métalliques, par exemple, qui seront suffisamment gros, l'étincelle apparaît sous la forme d'un faisceau de trois ou quatre traits de feu plus ou moins recourbés, plus ou moins mobiles dans leur

trajet, plus ou moins écartés les uns des autres, qui s'échangent entre les divers points des extrémités des rhéophores, et dont la longueur maximum varie suivant la manière dont se font les interruptions du courant inducteur et la force de la pile. Avec l'interrupteur de de Larive, cette longueur varie depuis un centimètre jusqu'à un centimètre et demi; mais si on interrompt le courant à la main, les étincelles qui ne sont plus, il est vrai, continues, s'échangent à une distance qui peut varier depuis deux centimètres jusqu'à deux et demi; ce qui prouve que les interruptions lentes sont plus favorables au développement de l'induction que les interruptions précipitées. On peut, du reste, le prouver d'une manière encore plus décisive en interrompant le courant au moyen d'un interrupteur à roue dentée; quand on tourne lentement la roue, on a de belles étincelles; au contraire, quand on la tourne très-vite, on n'en a plus du tout. Ainsi, les fluides excités par l'induction exigent un temps appréciable pour se développer. Cela vient sans doute, comme l'a fait observer M. Matteucci, de ce qu'il faut un certain temps pour le développement de l'électro-magnétisme, c'est-à-dire pour que le fer se magnétise totalement. Quand on emploie l'interrupteur de de Larive, il faut donc éloigner le plus possible le marteau du noyau de fer, et cette précaution doit surtout être prise quand un condensateur est interposé dans le circuit induit.[1] Du reste, ces traits de

1. Une chose assez curieuse, et que M. Ryke a pu constater d'une manière parfaitement sûre, c'est qu'en l'absence du condensateur, des interruptions très-multipliées sont favorables au développement du courant induit, et leur avantage est d'autant plus manifeste que le courant inducteur est moins énergique. Ainsi, avec une pile de Daniell de deux éléments employée comme agent inducteur, les étincelles d'induction n'avaient fourni à M. Ryke, en se servant de l'interrupteur de Ruhmkorff, qu'une longueur de $6^m,09$, tandis qu'avec son interrupteur à vibrations multipliées elles atteignaient une longueur de $10^m,09$. En substituant un élément de Bunsen aux deux éléments de Daniell, les étincelles ne variaient avec les deux interrupteurs que dans le rapport de $4^m,31$ à $5^m,82$.

feu, qu'ils soient longs ou courts, paraissent toujours d'une blancheur éblouissante, quel que soit l'état hygrométrique de l'air.

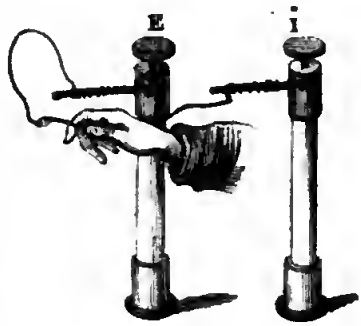


Fig. 5.

Quand les rhéophores se terminent par des fils de fer très-fins, et qu'on les approche à une petite distance l'un de l'autre, ils subissent l'effet de la réaction calorifique de l'électricité; mais, chose surprenante, un seul des rhéophores rougit et brûle, et c'est celui qui correspond au pôle négatif. En changeant le sens du courant, l'effet calorique change de côté (voir fig. 5). Ce phénomène fort curieux, qui montre l'inégal pouvoir des pôles d'un circuit, par rapport à la chaleur, a été découvert par M. Masson dès ses premières expériences sur les courants induits; il peut être d'un grand secours pour les recherches scientifiques, puisqu'il dispense d'un galvanomètre pour faire connaître le sens de ces courants induits.

Un autre phénomène non moins remarquable et qui n'est pas encore expliqué d'une manière satisfaisante, c'est que les deux pôles de l'appareil de Ruhmkorff ne possèdent pas l'électricité au même degré de tension. Ainsi, le bout extérieur de l'hélice induite peut fournir des étincelles à distance quand on lui présente un conducteur isolé du circuit, tandis que pareille chose n'a pas lieu pour le pôle correspondant au bout intérieur du fil. Ce phénomène, en

réagissant dans la plupart des effets électriques fournis par l'appareil de Ruhmkorff, pourrait quelquefois induire en erreur les observateurs s'ils ne vérifiaient cette influence

Fig. 6.

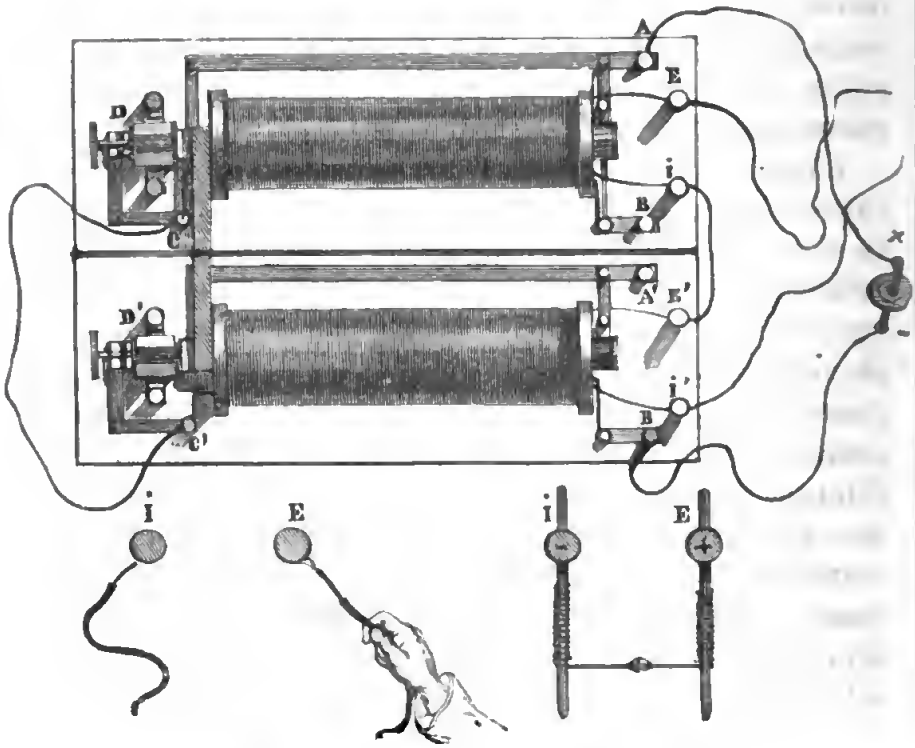


Fig. 9. Fig. 7.

par le renversement de sens du courant (voir fig. 9). Du reste, il est un moyen d'obtenir un courant ayant deux pôles avec une égale tension électrique, c'est de faire passer le courant inducteur à travers deux appareils réunis par leur gros fil et leur fer. Il faut, pour cela, enlever le marteau de l'un des deux interrupteurs, attacher un des pôles de la pile à l'enclume de l'interrupteur qui reste actif, fixer l'autre pôle de cette même pile au bouton d'attache qui correspond au marteau de l'interrupteur qui a été enlevé, enfin établir une communication entre les deux bouts de

l'hélice de gros fil (du côté du commutateur) et relier les deux fers par une traverse de même métal. (Voir fig. 6.)

En attachant alors les deux rhéophores, l'un à la colonne de gauche E, du premier appareil, l'autre à la colonne de droite I′, du second appareil et en unissant entre elles les deux autres colonnes I et E′, on obtient non-seulement deux pôles d'égale tension électrique, mais encore un accroissement dans la force du courant.

L'étincelle d'induction peut non-seulement être échangée entre les deux extrémités du fil induit, mais encore entre le courant induit et l'extracourant créé dans le courant inducteur. C'est seulement avec le rhéophore qui est en rapport avec l'extrémité extérieure de l'hélice induite que ce phénomène se manifeste, ce qui prouve que les deux courants ont bien pour origine la même cause. Bien plus même, cette étincelle peut être provoquée de la part des vases de faïence, de verre ou de porcelaine qui servent de récipient aux liquides de la pile. Nous verrons bientôt pourquoi et comment cette action se manifeste. Nous aurons également occasion d'étudier spécialement les caractères particuliers de cet extracourant. Quant à présent nous nous bornerons à l'étude de l'étincelle résultant du courant induit.

Si l'on observe attentivement dans l'obscurité l'étincelle échangée entre deux fils métalliques assez gros pour ne pas être fondus, on ne tarde pas à distinguer une lueur d'un jaune verdâtre qui entoure les traits de feu dont nous avons parlé et qui semble constituer pour eux une atmosphère plus ou moins épaisse, suivant la force de la pile et la nature des rhéophores. Cette atmosphère qui s'épanouit à partir des points de naissance de l'étincelle, est tantôt de forme ovoïde, tantôt de forme conique, mais le plus souvent de forme irrégulière et variable avec la courbure des traits de feu échangés d'un rhéophore à l'autre. Quand la longueur de l'étincelle n'est pas très-considérable, cette atmosphère

est plus stable et presque toujours de forme ovoïde ; elle semble principalement reliée au pôle négatif et se trouve plus colorée en rouge du côté de ce pôle, ce qui lui donne une apparence légèrement conique. (V. fig. 8.)

Cette atmosphère n'est vraisemblablement qu'un matelas d'air devenu lumineux par son contact avec l'étincelle électrique, car on sait que tous les gaz deviennent lumineux à une température qui ne varie guère que de 500 à 800 degrés, et, d'ailleurs, sa liaison avec le pôle négatif où se manifeste la chaleur en est une preuve assez sensible. Du reste, cette atmosphère est tellement reliée aux phénomènes calorifiques de l'électricité qu'elle se manifeste à peine quand l'étincelle se trouve échangée à travers des corps susceptibles d'absorber immédiatement la chaleur. Ainsi, en prenant pour rhéophores des liquides, aucune atmosphère lumineuse ne s'aperçoit autour des jets de feu, mais les extrémités des rhéophores se trouvent volatilisées en peu d'instants. Avec des rhéophores contenant des essences, l'atmosphère lumineuse fait place à une flamme qui a dans l'origine une telle analogie avec elle, qu'on se méprendrait aisément si la combustion ne devenait pas manifeste. Quand, au contraire, les rhéophores sont entourés de substances susceptibles de s'échauffer sans se volatiliser, l'atmosphère lumineuse s'amplifie considérablement. Ainsi, après avoir trempé dans l'huile l'extrémité des rhéophores, la lueur jaune verdâtre devient beaucoup plus intense et son point de liaison avec le pôle négatif devient beaucoup plus visible.

Une chose fort extraordinaire, c'est que cette atmosphère peut être influencée par le souffle et réagit alors sur l'étincelle elle-même. L'expérience faite de la manière suivante est une des plus curieuses que l'on puisse faire avec l'appareil de Ruhmkorff. On attache aux deux pôles de l'appareil deux fils de cuivre ou de fer assez courts et assez forts pour résister à une forte insufflation. On place leurs extrémités

à une distance d'un demi-centimètre environ, et après avoir appliqué à l'appareil deux éléments de Bunsen on fait passer le courant à travers la solution de continuité, un jet lumineux se détermine aussitôt, et il est accompagné de l'atmosphère jaune verdâtre dont nous avons parlé. Si alors, avec un soufflet que l'on a eu soin d'appuyer d'une manière fixe, on souffle fortement sur l'étincelle, on voit immédiatement l'atmosphère jaune verdâtre repoussée du côté opposé à l'insufflation et former une *large nappe de feu* de couleur violette qui peut se prolonger assez loin le long des conducteurs, si on souffle de leur côté, et qui se trouve sillonnée, parallèlement à ses contours, par une multitude de jets de feu plus ou moins blancs, très-sinueux, et le plus souvent disposés entre eux comme des stratifications. La masse de lumière violette se trouve circonscrite par deux faisceaux de rayons violets qui partent des extrémités des rhéophores et se rejoignent par des courbes irrégulières, comme celles d'une flamme poussée par le vent. Avec le souffle de la poitrine les mêmes effets se reproduisent, seulement la nappe lumineuse paraît plus développée, plus uniformément lumineuse et plus rouge, mais les traits sinueux sont moins nombreux, quelquefois même ils n'existent pas. Quant à l'étincelle elle-même, c'est-à-dire aux jets de feu échangés directement d'un rhéophore à l'autre, ils paraissent ne pas être impressionnés par le souffle, ils continuent à se bifurquer, à se diviser, mais sans courbure sensible. (Voir fig. 10.)

Quand on répète cette expérience avec des liquides comme rhéophores, la nappe de feu projetée est beaucoup moins étendue. Cela vient sans doute de ce que l'atmosphère lumineuse manque dans l'étincelle échangée entre des liquides. Du reste, cette expérience est délicate à reproduire. Il faut pour cela employer les baguettes de Wolaston, en se servant de leur tube pour contenir les liquides que l'on veut

étudier sous ce rapport. On les plonge alors dans des verres remplis d'eau que l'on a mis en relation avec les pôles de l'appareil, et on incline ces tubes l'un vers l'autre à distance convenable, jusqu'à ce que le jet de feu s'échange entre les liquides qui y sont contenus. Malgré ces précautions, la ventilation enlève promptement les liquides, de sorte qu'il est difficile d'analyser le phénomène dans ses diverses circonstances.

Si l'on cherche à se rendre compte de la formation des étincelles sinueuses qui traversent la nappe de feu projetée par le souffle, on ne tarde pas à reconnaître que c'est à l'extrême et inégale dilatation de l'air dans toute l'étendue de la nappe de feu qu'il faut les attribuer. En effet, l'air dilaté présentant à l'étincelle moins de résistance que l'air sec et froid, cette étincelle se dérive en cherchant dans la nappe de feu les différents points les plus échauffés. De là ses ramifications multipliées et sinueuses qui ressemblent assez aux zigzags de la foudre.

On peut, par une expérience bien simple, s'assurer de l'influence de l'air échauffé sur la déviation de l'étincelle électrique. Il suffit pour cela de la provoquer dans le voisinage de la flamme d'une bougie; on la voit alors se recourber pour passer par cette flamme, bien que son trajet soit alors plus long. En même temps on aperçoit, vers le milieu de sa courbure, une exubérance de flamme qui prouve que l'effet calorifique de l'étincelle n'est pas pour cela perdu (voir fig. 11).

Au milieu de la flamme, la conductibilité de l'air devient si grande pour l'étincelle qu'elle s'épanouit et forme comme une espèce de sphère de lumière blanche. En rapprochant ce phénomène de celui dont nous avons précédemment parlé, on pourrait considérer ce globe comme formé par la réunion d'un nombre infini d'étincelles recourbées et toutes symétriques, en raison de l'uniformité de l'action calorifique

dans ce cas, mais qui n'en sont pas moins, quant à leur origine, de la même nature que celles qui sillonnent la nappe de feu de l'étincelle insufflée. Cela est tellement vrai, que de temps à autre on aperçoit au milieu de ce globe de feu un trait de lumière bleue qui représente les traits de feu échangés directement entre les deux extrémités des rhéophores, malgré l'insufflation.

Fig. 10.

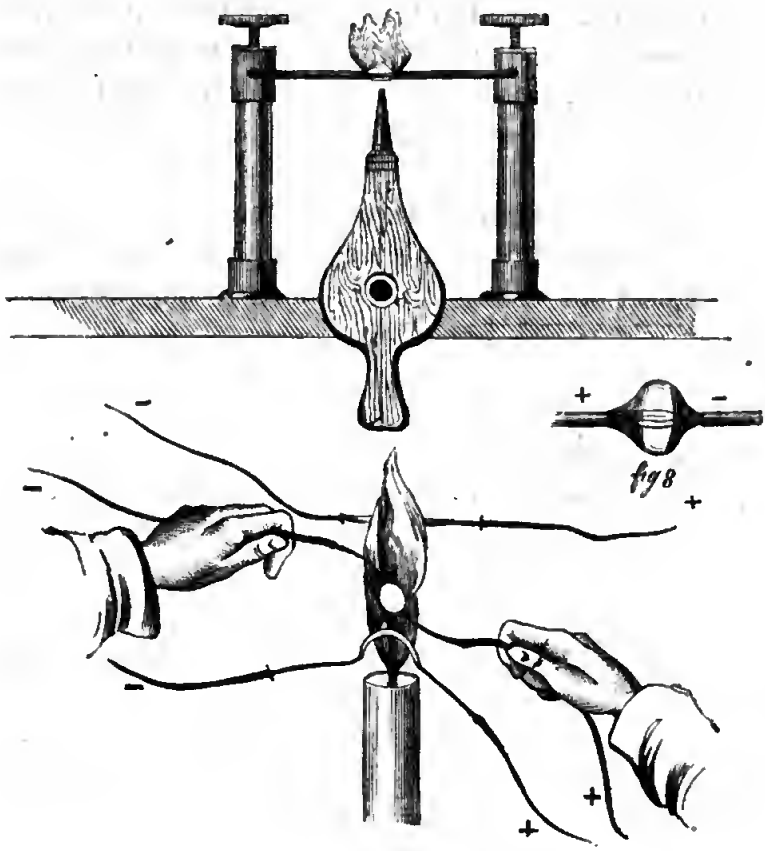


Fig. 11.

Quoi qu'il en soit, un fait assez curieux à signaler, c'est que l'étincelle résultant de la décharge d'un condensateur disposé d'après le système de M. Masson, n'a pas d'atmos-

phère lumineuse et n'est pas impressionnée par le souffle. Il semblerait résulter de là que la condensation des courants induits serait nuisible à leur effet calorifique.

Quand les rhéophores sont d'inégale surface, plusieurs phénomènes curieux se manifestent : d'abord les traits de feu qui constituent l'étincelle s'écartent davantage du côté de la surface la plus large, surtout si cette plaque est en rapport avec le pôle négatif ; l'atmosphère lumineuse devient par conséquent conique. Mais là n'est pas le curieux du phénomène, c'est dans la manière même dont se transmet l'étincelle d'un rhéophore à l'autre suivant le sens du courant et l'état des surfaces exposées à la décharge.

Fig. 12. Fig. 14.

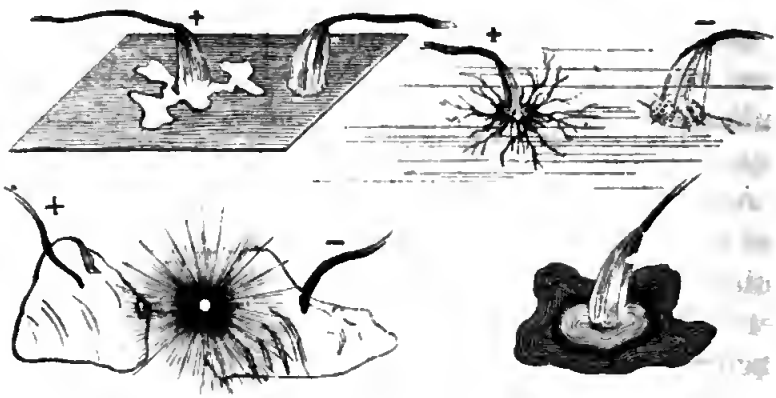


Fig. 15. Fig. 13.

Ainsi, si l'un des rhéophores se termine par une plaque métallique légèrement oxydée ou salie, ou recouverte d'une poussière très-fine, tandis que l'autre rhéophore consistera simplement dans un fil métallique, l'étincelle, excitée par ce dernier rhéophore, mis en communication avec le pôle positif, s'étendra sur la surface métallique, comme une flaque d'eau irrégulièrement contournée, ou mieux en dessinant des espèces de feuilles d'arbres plus ou moins découpées, plus ou moins étendues, suivant l'état de la surface de

la plaque (fig. 12). L'étincelle, excitée au contraire par le pôle négatif, s'échangera directement et on pourrait dire presque perpendiculairement du fil à la plaque. Quand au contraire la surface métallique, au lieu d'être encrassée, est livrée à son brillant et à son poli, le phénomène précédent n'a pas lieu; mais si le rhéophore excitateur est un fil très-fin, l'étincelle laisse, comme l'a fait observer M. Grove, l'empreinte de son passage, et l'on observe autour du point frappé une auréole colorée, analogue à celle produite par la chaleur sur les bandes de cuivre qui circonscrivent le foyer des cheminées. Dans cette auréole, le bleu accuse la partie centrale, sauf le point du centre, et le brun, dont les contours sont beaucoup moins arrêtés, circonscrit extérieurement l'auréole (fig. 13).

Si, au lieu d'une surface métallique, on emploie une surface liquide, l'étincelle présente des caractères tout particuliers. D'abord sa couleur varie, non-seulement suivant la nature des pôles qui la provoquent, mais encore cette différence de couleur est d'autant plus grande que le liquide est meilleur conducteur. A la surface de l'eau, cette étincelle se ramifie et donne lieu à un très-grand nombre de filets déliés de couleur violette, qui représentent assez les racines d'un arbre (fig. 14). Le centre de ces ramifications a la forme d'un disque, et ce disque est beaucoup plus petit au pôle positif qu'au pôle négatif. Mais en revanche, les ramifications sont beaucoup moins longues à ce dernier pôle qu'au premier.

Ces disques, vus à la loupe, semblent différer de nature. Ainsi, au pôle positif, ils semblent être constitués par une foule de petites rayons qui se meuvent du centre à la circonférence, ce qui leur donne une apparence chevelue, tandis qu'au pôle négatif, ils sont beaucoup plus circonscrits, et présentent une lumière pointillée qui semble indiquer une ébullition. Du reste, ces disques sont reliés à l'étincelle,

qui est d'une couleur plus blanche, de la même manière que la corolle des fleurs est reliée à la tige. L'atmosphère lumineuse de ces deux étincelles est aussi bien différente d'amplitude, d'aspect et de grandeur. Ainsi, au pôle positif, son point de liaison avec le rhéophore, est d'une couleur verdâtre très-prononcée, tandis qu'à l'autre pôle, ce point de liaison est fortement rougeâtre. Cette atmosphère, d'ailleurs, est beaucoup plus développée à ce dernier pôle qu'au premier. Quant aux ramifications, elles sont d'autant plus longues que l'étincelle est soutirée de plus loin. Mais cet allongement s'effectue au préjudice de la grandeur des disques.

Si on cherche à se rendre compte de ce phénomène, on ne tarde pas à présumer que toutes ces différences viennent de ce que c'est le pôle positif qui donne et le pôle négatif qui reçoit, fait suffisamment démontré par les transports matériels opérés par les courants. En effet, si la surface qui reçoit le courant est plus grande que celle qui l'envoie, les rayons projetés par celle-ci peuvent être reçus de tous côtés, tandis que, quand l'inverse a lieu, les rayons qui pourraient être envoyés ne sont pas tous reçus; mais, en revanche, ils se concentrent davantage.

Si l'on verse sur la surface d'un liquide conducteur quelques gouttes d'un autre liquide non conducteur et d'une faible densité, de l'huile, par exemple, les phénomènes précédents se reproduisent d'une manière assez curieuse pour le coup d'œil. Ainsi, toutes les ramifications sont terminées par des boules lumineuses de couleur blanche, qui leur donnent l'aspect d'un arbre chargé de ses fruits. Cette particularité du phénomène s'explique aisément; car l'extrémité de ces ramifications étant le point de liaison du courant avec l'étincelle, la légère couche d'huile répandue à la surface de l'eau forme solution de continuité, et l'étincelle, en traversant cette solution de continuité, doit être plus brillante.

Si les rhéophores sont terminés par des morceaux de charbon de bois, l'étincelle s'échange à distance comme avec les métaux, seulement les deux points de contact avec les charbons sont beaucoup plus brillants. Si l'on raccourcit cette étincelle, elle prend bientôt au pôle négatif un éclat particulier et rayonnant qui peut être comparé à celui d'un point de lumière électrique issue d'une forte batterie voltaïque. (fig. 15). Elle est du reste parfaitement blanche. Au pôle positif elle ne présente qu'une lueur rougeâtre; mais, chose qui peut paraître extraordinaire au premier abord et qui est pourtant bien simple, l'inverse a lieu quand on provoque l'étincelle avec un rhéophore métallique, et c'est le pôle positif qui donne la plus belle lumière. Pour peu que l'on considère la manière dont est provoquée dans les deux cas l'étincelle, on ne tarde pas à se rendre compte de cet effet que l'on pourrait croire une anomalie. En effet, ce n'est pas parce que le rhéophore métallique que l'on présente au charbon est positif, que l'étincelle est brillante, mais bien parce que c'est le charbon qui est négatif. Quand, au contraire, le charbon est rhéophore positif, l'effet lumineux devrait être produit sur le rhéophore métallique; mais, comme le phénomène ne peut exister en raison de la nature de ce rhéophore, l'étincelle reste avec l'éclat qui correspond au pôle positif du rhéophore de charbon.

L'insufflation de l'étincelle ainsi provoquée produit les mêmes effets que pour celle échangée entre deux fils métalliques; seulement les filets sinueux sont moins nombreux.

Le charbon de cornue présente les mêmes effets que le charbon de bois, mais ils sont beaucoup moins brillants, c'est tout au plus si la lumière produite est rayonnante. Le coke est plus favorable, mais l'hétérogénéité de sa masse fait qu'on distingue difficilement l'inégal pouvoir des pôles.

Avec le liége rendu conducteur par son immersion dans l'acide sulfurique ou la basane humectée d'eau acidulée, le

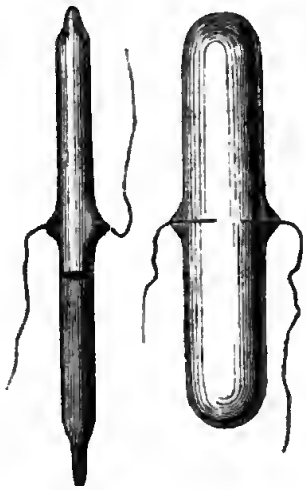
phénomène est beaucoup plus développé et beaucoup plus intense qu'avec le charbon; on obtient alors un point tellement lumineux qu'il est difficile de le fixer. En même temps le liége ou la basane se carbonnise et brûle. Il est vraisemblable que c'est à la moins bonne conductibilité de ces substances ainsi carbonnisées qu'il faut attribuer la différence d'intensité de la lumière produite. Quoi qu'il en soit, un fait curieux à signaler, c'est que ces substances, mauvaises conductrices par elles-mêmes, gardent la conductibilité que leur a donnée leur immersion dans un liquide acidulé, bien longtemps après que ce liquide s'est évaporé. Ainsi un morceau de basane qui n'avait été humidifié par l'eau acidulée que passagèrement s'est conservé pendant deux ans à l'état de bon conducteur.

Quand l'un des rhéophores est représenté par une surface de mercure, l'étincelle devient d'une plus grande blancheur et les jets de feu qui s'épanouissent considérablement sur cette surface se terminent par des boules de lumière blanche.

Étincelles d'induction dans l'air emprisonné. — M. E. Becquerel a fait, conjointement avec M. Frémy, une série d'expériences sur les propriétés des corps électrisés, qui l'ont conduit à faire, avec la machine de Ruhmkorff, plusieurs expériences d'un haut intérêt, non-seulement au point de vue de la science électrique, mais sous celui même de la physique du globe. Il a constaté, en effet, que si l'on fait passer pendant un certain temps le courant de la machine de Ruhmkorff dans un espace rempli d'air et hermétiquement fermé, les éléments de l'air se combinent ensemble et donnent naissance à de l'acide nitreux. Pour faire cette expérience, on fait arriver dans un ballon en verre de plusieurs litres, ou un simple tube fermé par les deux bouts et rempli d'air, les deux extrémités de deux fils de platine d'un fort diamètre que l'on met en relation avec le fil d'in-

duction. (fig. 16). On place ces deux extrémités à 2 ou 3 millimètres, et on s'arrange pour que, lorsque l'appareil fonctionne avec 4, 6, ou 10 couples, il s'établisse un arc voltaïque au milieu du ballon. Si l'on a pris les précautions nécessaires pour que ce ballon soit fermé, et qu'il ne se trouve en contact du gaz que du verre, du platine ou de la cire à cacheter, alors au bout de plusieurs minutes, ou même d'une demi-heure ou d'une heure, suivant l'intensité de l'arc, et la grandeur du ballon on voit la nuance de l'air changer et des vapeurs rutilantes remplir le ballon. L'intérieur devient tout à fait rouge orangé. Ainsi les éléments de l'air, oxygène et azote, se combinent directement dans cette expérience.

Fig. 17. Fig. 16.



Comme cette réaction chimique est la seule que présente le gaz azote, que l'on est habitué à doser, en chimie, d'après ses caractères négatifs, MM. Becquerel et Frémy ont proposé d'appliquer l'appareil de Ruhmkorff à l'analyse chimique pour reconnaître la présence de l'azote. En effet, des traces d'azote mélangées à l'oxygène sont rendues sen-

sibles dans un appareil construit comme le précédent, mais de moindres dimensions.

Cette expérience, qui est très-curieuse à reproduire dans les cours, prouve que la foudre en éclatant donne naissance dans l'atmosphère à de l'acide nitreux, qui devient azotique lors de son absorption par la pluie. C'est en effet ce qu'a constaté l'analyse chimique des eaux de pluie. Cette expérience donne en outre à supposer que les nitrières naturelles, qu'on retrouve en si grande quantité dans l'Inde, pourraient bien avoir pour origine cet acide nitrique créé au moment des orages; car on sait que les orages sont très-communs et surtout formidables dans la zone torride.

Étincelles d'induction dans l'air condensé. — Harris a établi, par quelques expériences, que la quantité d'électricité nécessaire pour produire dans l'air une étincelle d'une longueur constante était en raison directe de la pression du gaz. M. Masson a confirmé cette loi par un très-grand nombre d'observations et des méthodes différentes.

Ainsi, dans l'air condensé, l'étincelle est plus courte et plus ramassée qu'à l'air libre, et cela se conçoit d'ailleurs facilement, puisque les molécules isolantes étant alors plus pressées se déplacent plus difficilement. Pourtant, il faut le dire, avec l'étincelle de l'appareil de Ruhmkorff, cette action est moins sensible à cause de l'extrême tension des courants d'induction. Nous aurons occasion de voir plus tard la différence considérable qui existe sous ce rapport entre l'étincelle d'induction et celle des machines.

Étincelles d'induction dans l'air dilaté. — Par la raison inverse à la précédente, on comprend que plus la couche d'air interposée entre les deux points où s'effectue la décharge est dilatée, plus cette décharge s'opère facilement, et plus par conséquent l'étincelle devient longue pour une même intensité électrique. C'est pour cette raison que l'in-

terposition de la flamme, ou d'un matelas d'air élevé à une haute température, augmente, comme nous l'avons vu, la longeur de l'étincelle; c'est encore pourquoi l'étincelle peut s'échanger dans le vide, à une distance considérable. Dans ce cas, le phénomène est si complexe et si curieux, que nous lui consacrerons un chapitre spécial. Mais si l'étincelle se trouve ainsi amplifiée dans l'air raréfié, en revanche sa lumière est beaucoup moins intense.

Étincelles d'induction dans les gaz. — M. Masson prétend que l'intervention des gaz au milieu de la décharge électrique modifie l'aspect de l'étincelle, mais ne réagit en aucune façon sur ses caractères physiques, comme nous le verrons plus tard. Ainsi, dans le gaz hydrogène, l'étincelle est faible et très-rouge, tandis que dans l'acide carbonique elle est vive et blanche. Dans l'oxygène et l'azote, elle conserve le même aspect qu'à l'air libre; seulement avec le premier de ces gaz, la couleur est plus prononcée. Dans l'acide hydrochlorique, elle a une teinte bleue très-caractérisée. (Voir le *Traité d'Électricité* de MM. Becquerel, vol. I, page 343.)

Si l'étincelle électrique est peu modifiée dans sa constitution et ses caractères physiques par la nature des milieux dans lesquels elle éclate, il n'en est pas de même de ces milieux, et quelques-uns d'entre eux se trouvent acquérir des propriétés tout à fait différentes. Ainsi l'oxygène, par exemple, se trouve transformé en ozone, comme l'a démontré M. E. Becquerel. Pour faire cette expérience très-curieuse d'ailleurs avec la machine de Ruhmkorff, on fait passer à travers un tube étranglé de place en place un courant d'oxygène parfaitement pur et parfaitement sec (fig. 17); et, après avoir introduit à l'intérieur de ce tube une bande de papier amidonné et ioduré, on ferme la partie étranglée à la lampe, de sorte que l'oxygène se trouve parfaitement emprisonné. On peut alors, dit M. E. Becquerel, électriser

ce gaz de deux manières : directement ou par influence. Dans le premier cas, on fait passer l'étincelle à travers deux fils de platine, disposés comme dans l'expérience pour la combinaison des éléments de l'air, que nous avons décrite précédemment; seulement il faut qu'ils soient suffisamment éloignés l'un de l'autre pour que la décharge électrique ne se fasse pas sous la forme d'un jet continu : il faut, au contraire, que les étincelles se succèdent lentement et isolément. On voit alors la feuille de papier bleuir, et cette coloration ne tient pas à la décomposition de l'iodure, mais bien à l'électrisation de l'oxygène, car aucun effet de ce genre n'a lieu dans l'hydrogène pur placé dans les mêmes conditions. Pour obtenir l'électrisation de l'oxygène par influence, on provoque les étincelles de manière à ce qu'elles viennent lécher extérieurement la surface du tube. Dans tous les cas, il faut, pour que l'expérience réussisse et soit incontestable, que l'enveloppe dans laquelle est emprisonné le gaz ne présente pas de parties métalliques autres que le platine [1].

Étincelles d'induction dans les liquides. — Les liquides comme les solides, et même les gaz [2], sont plus ou moins bons conducteurs de l'électricité, et, en cette qualité, ils peuvent transmettre ce fluide sans déflagration et sans production de lumière. C'est ce qui arrive, en effet, pour l'eau et la plupart des liquides ou dissolutions. Il est cependant quelques liquides comme les huiles, l'alcool, l'essence de térébenthine, et surtout le sulfure de carbone, qui sont beaucoup plus mauvais conducteurs, et qui jouent, par rapport à l'étincelle d'induction, le même rôle que les corps gazeux, à cette différence près

1. Voir le Mémoire de MM. Ed. Becquerel et Fremy, dans les *Annales de physique et de chimie*, t. XXXV.

2. Voir le Mémoire de M. Ed. Becquerel sur la conductibilité des gaz (*Annales de physique et de chimie*), année 1852.

qu'étant plus denses, l'étincelle qui se trouve produite dans leur sein est plus courte et donne lieu à des crépitations plus énergiques. Dans ces sortes de liquides, l'étincelle varie de couleur, suivant la nature du liquide : ainsi, dans l'huile, elle est d'un blanc verdâtre; dans l'alcool, d'un rouge très-prononcé, et ses crépitations donnent lieu à un bruit métallique tout particulier. On peut la provoquer, non-seulement avec des rhéophores métalliques, comme à l'air libre ou dans les gaz, mais avec des rhéophores liquides, à la condition que ceux-ci seront bons conducteurs. Ainsi, par exemple, si on verse dans un tube recourbé brusquement en siphon quelques gouttes d'huile, et qu'on achève de le remplir avec de l'eau, on obtient, en renversant le siphon, et en plongeant ses branches dans deux verres remplis d'eau au même niveau, l'ascension de l'huile dans le tube, et ce liquide vient en occuper précisément la partie courbe. Alors, pour peu que les deux surfaces de l'eau ne soient pas à une trop grande distance l'une de l'autre, l'étincelle s'échange entre ces deux surfaces à travers l'huile, aussitôt qu'on a plongé dans les deux verres les rhéophores de l'appareil.

Cette expérience peut être faite plus simplement, de la manière suivante : on verse, dans un verre rempli d'eau, une certaine quantité d'huile, comme pour une veilleuse; on plonge dans l'eau un des rhéophores de l'appareil, que l'on a eu soin de choisir recouvert de gutta-percha, et avec l'autre rhéophore, que l'on tient éloigné environ de 2 millimètres de la surface de l'eau, on provoque l'étincelle électrique à travers l'huile. Dans cette expérience, les crépitations de l'étincelle sont d'autant plus fortes, que les bulles d'hydrogène qui se dégagent se trouvent enflammées par l'étincelle.

Si, après avoir été plongés dans l'huile, les deux rhéophores sont trempés dans l'eau, la légère couche d'huile

qui les recouvre devient écumeuse, et la partie des fils qui est immergée, surtout au pôle négatif, se trouve illuminée par une foule de petites étincelles.

Quand les liquides sont bons conducteurs, comme l'eau acidulée, les dissolutions salines, et, en particulier, la dissolution de sulfate de cuivre, l'étincelle, pour apparaître au milieu d'eux, exige une certaine combinaison des rhéophores. Pour les courants voltaïques de très-forte tension, tels que ceux qui produisent la lumière électrique entre deux charbons, cette combinaison consiste à rapprocher très-près l'un de l'autre les deux rhéophores de charbon : alors l'électricité passant d'un très-bon conducteur (le charbon) dans un mauvais (l'eau, comparativement), apparaît sous la forme d'étincelle; mais pour les courants d'induction de la machine de Ruhmkorff, cette combinaison ne serait pas suffisante. Voici comment M. Masson est parvenu à les obtenir.

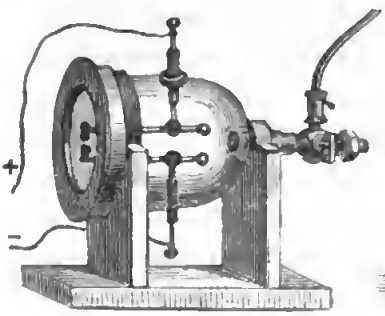


Fig. 19.

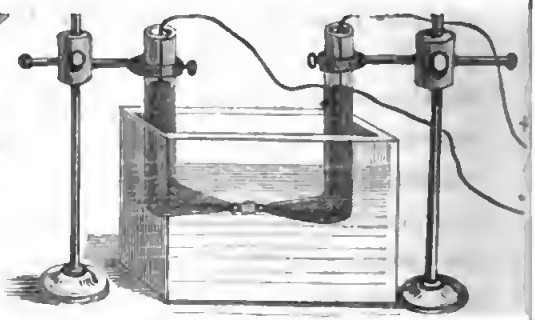


Fig. 18.

Il prend deux baguettes de Wollaston recourbées par le bout, comme l'indique la figure 18, et les dispose de manière à ce que le fil de platine qui traverse le bout effilé à la lampe soit terminé par une petite boule du même métal, incrustée elle-même en partie dans le verre; puis, après avoir rempli de mercure le tube de ces deux baguettes, il les adapte à deux supports et les plonge dans une cuve de cristal remplie d'eau. Si l'intervalle qui sépare les deux

baguettes est assez faible pour que la résistance de la couche liquide soit plus grande que celle nécessitée pour la décharge directe, l'étincelle s'échange d'une des boules de platine à l'autre, et fournit un point lumineux continu au milieu du liquide.

En décomposant par un courant voltaïque l'eau rendue bon conducteur par de l'acide sulfurique ou de la potasse, M. Quet est parvenu à faire luire des électrodes de platine d'une assez vive lumière pour avoir de l'éclat même en plein jour.

Dans cette expérience, le fil de platine n'est pas incandescent, mais il est comme enveloppé d'une gaîne de lumière qui semble le séparer de l'eau voisine; la couleur de cette lumière n'est pas la même aux deux pôles : dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique, la couleur polaire de l'électrode négatif rappelle cette douce lumière violette qui enveloppe la tige et la boule négative, dans l'expérience de la lumière dans le vide; parfois elle présente des parties vertes. Celle de l'électrode positif est rouge. Ces couleurs n'appartiennent pas exclusivement aux deux pôles : car, dans une dissolution de potasse, l'auréole lumineuse de l'électrode négatif a une belle teinte rose.

L'illumination des deux électrodes ne se produit pas avec la même facilité : c'est ordinairement l'électrode négatif qui s'enveloppe de sa gaîne lumineuse. Lorsque ce phénomène se produit, le mouvement de l'eau, qui était tumultueux, s'arrête brusquement, et la décomposition du liquide est en quelque sorte suspendue; on ne voit alors que quelques bulles de gaz rares et très-petites s'élever sur les électrodes, et l'on entend un léger bruit de crépitation; puis, quand l'illumination cesse de nouveau, le mouvement du liquide devient violent et la décomposition de l'eau se ranime.

Pour produire l'illumination des électrodes et la suspen-

sion de l'électrolisation qui l'accompagne, il suffit d'employer 40 grands éléments de Bunsen bien préparés, et laisser ensuite la température du liquide s'élever jusqu'au point où le phénomène éclate de lui-même. On peut aussi provoquer l'illumination des électrodes sans attendre que la température de l'eau se soit beaucoup élevée, en plaçant convenablement de petites cloches sur les fils de platine. De cette manière, on peut encore réussir, même lorsque la pile s'est affaiblie par un travail de sept ou huit heures, mais alors on ne parvient pas à illuminer les fils dans toute leur longueur.

M. Quet a voulu reproduire ces expériences avec l'appareil de Ruhmkorff, et voici les résultats auxquels il est parvenu, en employant 2 éléments Bunsen seulement et les baguettes de Wollaston.

1° L'eau a été décomposée avec un bruit très-vif de crépitation;

2° Au bout de chaque fil de platine terminant la baguette de Wollaston, il a aperçu une série d'étincelles électriques très-courtes imitant un feu continu, comme si l'on avait deux petites lampes allumées au sein de l'eau. Ces deux lumières n'ont pas en général la même couleur: l'une est violette et l'autre tire sur le rouge; la première se présente à l'électrode négatif. On peut, au reste, éloigner ces deux lumières l'une de l'autre autant qu'on le veut.

Jusqu'à présent, nous avons parlé de liquides bons conducteurs et mauvais conducteurs, comme si les liquides se comportaient à l'égard de l'électricité de la même manière que les solides. Il est pourtant loin d'en être ainsi; car de ce qu'un courant électrique traverse un liquide, il en résulte que le liquide est décomposé, et, par conséquent, que la conductibilité électrique, dans ce cas, ne pourrait être qu'une conductibilité électrolytique. Pourtant, plusieurs expériences faites par MM. Faraday et Foucault

semblent démontrer qu'en outre de cette conductibilité électrolytique, les liquides ont une conductibilité propre. Mais voici une expérience de M. Masson avec l'appareil de Ruhmkorff qui ne peut guère laisser de doute à cet égard.

Fig. 20. Fig. 21.

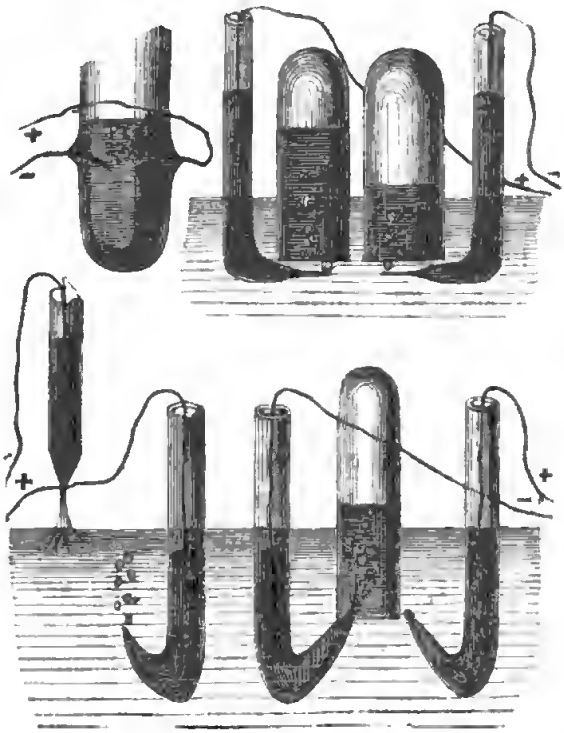


Fig. 23. Fig. 22.

Si l'on fait passer à travers un tube à moitié rempli d'alcool concentré le courant induit de l'appareil de Ruhmkorff (V. fig. 20), et que l'on éloigne les électrodes jusqu'à ce que l'étincelle ne puisse plus s'échanger à travers le liquide, on aperçoit un dégagement de bulles gazeuses, que l'on prendrait au premier abord pour des gaz résultant de la décomposition du liquide, mais qui, étant analysées avec soin, ne sont autres que des bulles de vapeur alcoolique.

Or, dit M. Masson, puisque le courant provoque une ébullition de la part du liquide, sans qu'il y ait décomposition, c'est qu'il le traverse sous l'influence seule de sa conductibilité propre.

II.

Transmission des courants d'induction a travers les corps isolants.

Depuis longtemps j'avais constaté que si le bois, la laine, la pierre, et en général les corps secs non métalliques n'étaient pas bons conducteurs de l'électricité d'induction, comme ils le sont de l'électricité des machines, cela provenait de la faible quantité d'électricité accumulée à l'extrémité des rhéophores. En terminant ceux-ci par des plaques suffisamment larges, comme on le fait, pour la transmission des courants à travers le sol dans les lignes télégraphiques, je devais donc obtenir une meilleure conductibilité de la part de ces corps mauvais conducteurs, et c'est, en effet, ce qui a eu lieu, à tel point que j'ai pu faire sauter des mines à Cherbourg à 600 mètres de distance, en faisant intervenir pour moitié dans le circuit un rocher sec et dur.

D'après ces expériences, il m'était indiqué d'employer pour rhéophores, dans mes expériences sur la transmission des courants d'induction à travers les corps isolants, des plaques métalliques, et c'est, en effet, le parti que j'ai pris.

Mes premières expériences sur cette question importante remontent au mois de décembre 1853. J'avais alors reconnu que si l'on sépare deux lames métalliques par une, deux ou trois épaisseurs de verres, non-seulement le courant induit auquel ces lames métalliques servaient de rhéophores n'était pas interrompu par cette interposition, mais

qu'on pouvait encore charger une lame métallique placée entre ces verres. J'avais même constaté que la charge de cette lame interposée pouvait s'effectuer et même s'effectuait plus énergiquement sous l'influence seule du pôle extérieur du circuit induit, et qu'on pouvait la décharger avec un conducteur entièrement isolé du circuit (V. fig. 24). Enfin,

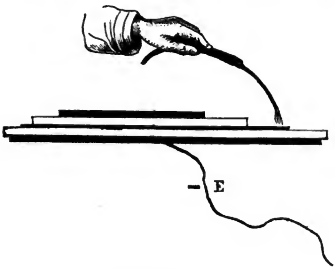


Fig. 24.

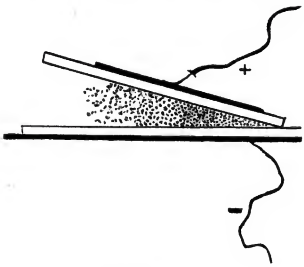


Fig. 25.

j'avais reconnu que de la limaille métallique placée entre deux surfaces de verre éloignées l'une de l'autre de quelques millimètres se trouvait alternativement attirée et repoussée par les deux pôles du courant induit, comme les balles de sureau dans l'expérience de Volta, pour la démonstration de la formation de la grêle (V. fig. 25)[1].

Comment s'opère dans ce cas la transmission de l'électricité? Telle fut la question qui me conduisit à faire les expériences suivantes, qui sont, d'ailleurs, très-intéressantes à répéter.

Si l'on maintient à environ 3 ou 4 millimètres l'une de l'autre deux lames de verre C D, E F (fig. 26) revêtues extérieurement de deux lames métalliques A B, G H, mises en rapport avec les deux pôles de l'appareil de Ruhmkorff, on aperçoit dans l'obscurité une pluie de feu d'une belle cou-

1. Voir le journal *l'Institut* du 5 décembre 1853 et du 8 février 1854.

leur bleue qui s'échange entre les deux surfaces de verre, sans que l'étincelle passe par les bords des lames isolantes. De plus, on distingue entre les lames métalliques et les lames de verre deux raies lumineuses qui indiquent suffisamment que l'effet électrique se manifeste sur toute l'étendue des surfaces qui se trouvent interposées entre les deux lames électrisées.

Fig. 26.

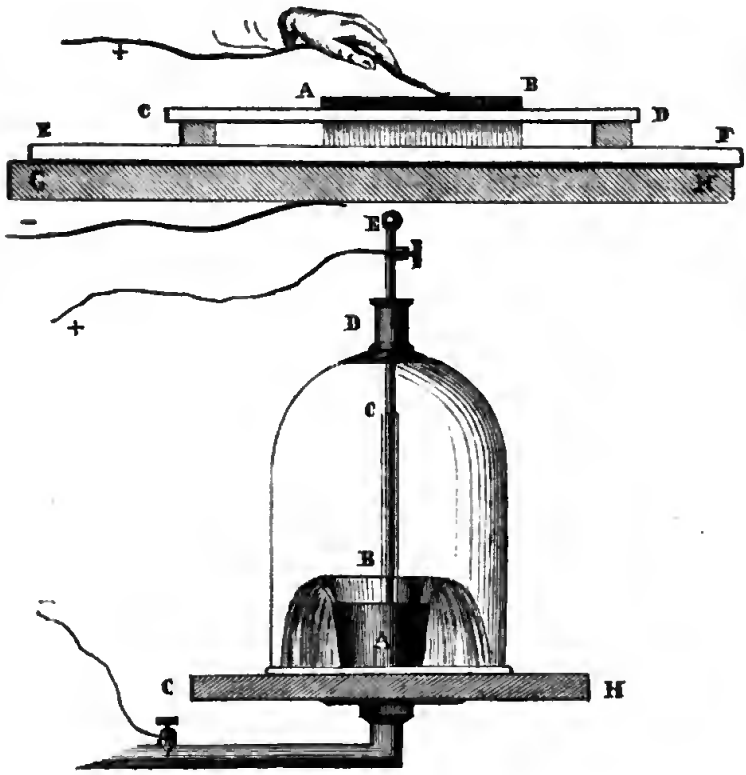


Fig. 27.

L'étincelle, en réagissant ainsi au travers du verre, traverse-t-elle simplement cette substance? ou bien agit-elle par condensation? C'est une question qui ne peut guère être douteuse si l'on examine attentivement ce phénomène.

En effet, si l'électricité traversait le verre qui est plus isolant que l'air, on verrait son passage à travers les lames en les regardant de champ. Or, ces lames paraissent parfaitement obscures et forment comme deux bandes noires entre les trois lueurs bleuâtres dont nous avons parlé. Il faut donc admettre un effet de condensation. Comment cet effet se manifeste-t-il? C'est ce que M. Gaugain, qui a repris et analysé mes expériences, a expliqué très-catégoriquement de la manière suivante, en employant pour la démonstration de sa théorie un appareil dont nous parlerons dans le prochain chapitre.

« Si, dit M. Gaugain, le courant induit traversait le verre, la déviation que chacun des rhéophores produirait sur le galvanomètre serait toujours dans le même sens, comme s'il n'y avait pas d'interruption dans le circuit; mais si, au contraire, au lieu d'obtenir une déviation continuellement dans le même sens, on a des déviations alternativement en sens contraire, c'est que le courant, après s'être condensé, revient sur lui-même et se recompose à travers la bobine d'induction. » Or, en employant un appareil auquel il a donné le nom de soupape électrique, M. Gaugain a pu constater qu'en effet le courant induit changeait alternativement de sens à partir des lames du condensateur.

Ainsi, le phénomène de la continuité du courant induit, malgré l'interposition d'une lame isolante, n'est dû qu'à une décharge en retour, fait analogue, d'ailleurs, au phénomène désigné dans les ouvrages de physique météorologique sous le nom de *choc au retour*.

M. Poggendorff qui a fait de son côté ces expériences, sans avoir eu, sans doute, connaissance des travaux que j'ai entrepris sur ces phénomènes depuis près de deux ans, puisqu'il ne me nomme pas dans son mémoire, attribue ces effets à une perméabilité du verre pour les courants induits; mais nous sommes loin de partager son opinion.

Quant à l'effluve de feu que nous avons signalée, elle est plus difficile à expliquer. M. Gaugain croit que le matelas d'air interposé entre les deux lames est électrisé par influence, et que la condensation au lieu de s'opérer directement entre les deux fluides développés à l'extrémité des rhéophores s'opère sur les fluides doublement décomposés du matelas d'air intermédiaire. Mais il est peut-être un peu hardi d'admettre qu'une substance isolante comme l'air puisse être électrisée par influence. Pourquoi alors le verre ne le serait-il pas? D'ailleurs, nous étudierons bientôt une expérience de M. Gassiot, dans laquelle cette pluie de feu se manifeste d'une manière beaucoup plus énergique dans le vide; là, pourtant il n'y a pas de matelas d'air interposé. Il est probable que ces réactions, encore fort peu étudiées, viennent de ce que le verre est susceptible de recevoir une certaine influence. Cela peut paraître extraordinaire, mais non impossible; car M. Arago lui-même a reconnu que le magnétisme de rotation influençait les corps isolants. Quoi qu'il en soit, cette transmission de l'électricité à travers les substances isolantes explique parfaitement la danse de la limaille métallique placée entre deux lames de verre dont nous avons parlé précédemment et qui rentre complétement dans les conditions du phénomène de la danse des pantins.

Si dans l'expérience précédente on considère l'effet lumineux autour de la plus petite des deux plaques métalliques, on est étonné du développement de l'effet électrique. Ainsi, la lumière déborde la plaque et rayonne dans toutes les directions en formant autour d'elle comme une frange chevelue. Si on souffle sur le verre, cette lumière s'étend fort loin, et le chevelu disparaît pour faire place à une masse de lumière pointillée dont les particules sont sans cesse en mouvement. Quand l'humidité du verre due à l'insufflation est à peu près disparue, les rayons se réunissent en

faisceaux autour de la plaque pour se terminer par des aigrettes (fig. 29).

En substituant un liquide conducteur à une des plaques métalliques, la lumière bleue pointillée apparaît sur toute la surface du verre où il est répandu. Une circonstance particulière et fort curieuse de ces phénomènes, c'est que les effets lumineux, quant à leurs proportions et à leur éclat, varient suivant le sens du courant. Ils atteignent, leur maximum d'énergie, lorsque le pôle négatif occupe celle des deux surfaces conductrices qui est la plus étendue. Ce phénomène a, sans doute, pour cause celle à laquelle nous avons attribué la différence d'amplitude des ramifications de l'étincelle, lorsqu'on la provoque à la surface d'un liquide.

Fig. 28.

L'huile, employée dans les mêmes conditions que le verre dans les expériences précédentes, ne présente pas les mêmes phénomènes. Si la couche est trop mince, plusieurs étincelles la traversent pour atteindre la plaque métallique; si la couche est trop épaisse, aucune action lumineuse n'est produite autour de la plaque; on aperçoit seulement à la surface du liquide des rides mobiles qui convergent vers le centre de la plaque et qui rayonnent comme aurait fait la lumière bleue si elle se fût produite.

En interposant de l'huile entre deux lames de verre servant d'isolant à deux plaques métalliques, on ne change rien aux effets lumineux dont nous avons parlé; seulement, la ligne de séparation des deux verres, qui aurait paru lumineuse sans l'intervention de l'huile, n'est pas visible, et la différence d'action due au sens du courant est moins marquée.

Les phénomènes qui se produisent avec les lames de métal peuvent se répéter avec le papier d'étain et les limailles métalliques; et comme la lumière bleue circonscrit tous les contours de ces différents conducteurs, on peut les découper de manière à dessiner des lettres ou des figures quelconques qui se détachent alors en noir sur un fond de lumière bleue (V. fig. 28). Cette même expérience peut être reproduite en employant, en guise de plaque, un liquide conducteur; alors les lettres ou les figures que l'on a tracées sur le verre avec ce liquide paraissent lumineuses au lieu de paraître obscures, et sont entourées de rayons ramifiés en forme de branchages qui sont du plus curieux effet (fig. 29).

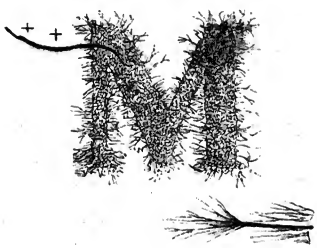


Fig. 29.

En faisant intervenir le vide dans ces réactions, M. Gassiot a produit des effets réellement extraordinaires. Pour cela, il place sous la cloche de la machine pneumatique un

verre à bec A (fig. 27) garni intérieurement, jusqu'à une distance de 2 ou 3 centimètres du bord supérieur, de papier métallique; il fait descendre, à travers la boîte à cuir D dont est munie supérieurement la cloche de la machine, une tige métallique enveloppée dans un tube de verre B C jusqu'à ce qu'elle atteigne le fond du verre à bec, et après avoir mis en communication avec les pôles de l'appareil de Ruhmkorff cette tige et la machine elle-même, il fait le vide sous la cloche. A mesure que le vide se fait, l'influence électrique réciproque exercée entre la garniture métallique du verre à bec et le métal sur lequel est appuyée la platine de verre de la machine, s'effectue de plus en plus facilement à travers le vide, et quand celui-ci est suffisamment fait, la pluie de feu dont nous avons parlé précédemment s'échange directement du papier métallique à la platine de verre sous la forme d'une cascade de feu qui se déverse par-dessus les bords du verre à bec. En retournant le verre on varie l'expérience.

III.

TRANSMISSION DES COURANTS INDUITS DANS LE VIDE.

Les expériences que M. Grove avait entreprises, pour déterminer les effets électro-calorifiques dus aux réactions polaires des courants induits sur les lames métalliques, effets dont nous parlerons bientôt, l'avaient conduit à varier la nature des milieux dans lesquels s'échangeait l'étincelle, en introduisant sous le récipient de la machine pneumatique différents gaz ou vapeurs. Croyant à un effet d'interférence électrique dans la création des anneaux colorés qu'il observa, il chercha à analyser la lumière produite par l'étincelle elle-même dans ce récipient, et pour développer plus énergiquement le phénomène, il fit le vide sur de la vapeur de phosphore. Quel fut son étonnement, quand, au lieu

d'une simple lueur diffuse, il aperçut à l'intérieur du récipient une lumière complétement stratifiée, c'est-à-dire coupée transversalement à la direction du jet par une multitude de petites bandes obscures très-étroites et mobiles! La lumière de l'étincelle d'induction, dans un vide fait sur une vapeur, en admettant qu'elle fût de même nature que celle provoquée dans l'œuf électrique de la part d'une machine électrique, ne se comportait donc pas de la même manière. Quelle pouvait en être la cause? C'est ce que M. Grove n'étudia pas alors; il se contenta de signaler le phénomène, qui est un des plus curieux que l'on puisse voir[1]. A peu près au même moment, M. Ruhmkorff, faisant de son côté des recherches sur l'aspect de l'étincelle de son appareil dans l'œuf électrique, constata que, dans un vide fait sur de la vapeur d'alcool, on obtenait de magnifiques stratifications au milieu de la lumière rouge issue du pôle positif, et que ces stratifications, ou raies obscures, semblaient animées d'un mouvement de vibration très-prononcé. Cette curieuse expérience ayant été montrée à M. Quet, alors professeur au collége Saint-Louis, cet habile physicien étudia les diverses circonstances du phénomène, et publia, dans les *Comptes rendus* de l'Académie des Sciences du mois de décembre 1852, un travail fort curieux que nous allons essayer d'analyser.

« Lorsqu'on a fait le vide aussi exactement qu'il est possible de l'observer avec une excellente machine pneumatique dans le récipient connu sous le nom d'œuf électrique, dit M. Quet, et si l'on met en communication les deux tiges du récipient avec les fils qui amènent les deux électricités fournies par la machine électrique de M. Ruhmkorff, on voit se produire dans le vide deux lumières électriques différentes par la couleur, la forme et la position. L'une des lumières

1. Voir le mémoire de M. Grove, *Annales de Physique et de Chimie*, vol. 37, p. 383.

est bleue, et entoure régulièrement la boule et la tige négatives; l'autre est rouge de feu; elle adhère d'un côté à la boule positive, s'étend de l'autre vers la boule négative, et a pour limites latérales une surface de révolution autour de l'axe du récipient. (Voir fig. 31.)

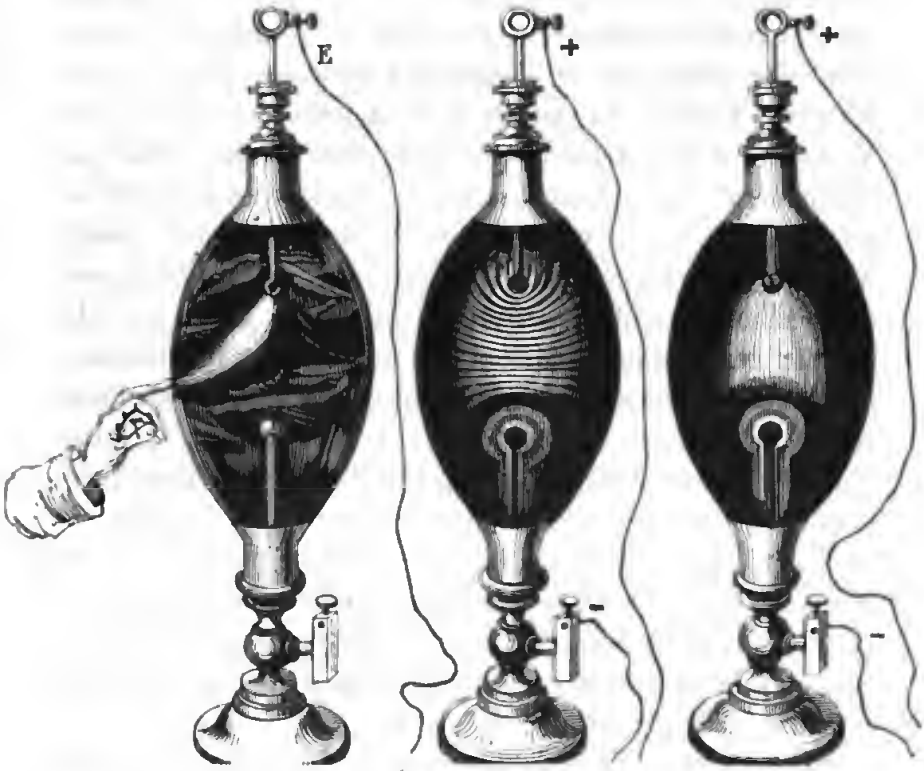


Fig. 30. Fig. 31. Fig. 32.

« En étudiant cette double lumière électrique dans des conditions variées, continue M. Quet, je suis parvenu à établir qu'elle a une constitution fort singulière; cette lumière est en effet comme stratifiée; elle est composée d'une suite de couches brillantes, entièrement séparées les unes des autres par des couches obscures. Pour bien développer ce phénomène de stratification et lui donner un grand éclat, on peut s'y prendre ainsi : — On remplit d'abord le réci-

pient avec un mélange d'air et d'une des vapeurs fournies par l'esprit de bois, l'essence de térébenthine, l'alcool, l'huile de naphte, le bichlorure d'étain, etc.; on fait ensuite le vide aussi parfaitement que possible avec une excellente machine pneumatique, on met les boules du récipient à $0^m,1$ de distance environ, puis on fait passer le courant électrique que fournit la machine de M. Ruhmkorff; alors on voit une multitude de couches brillantes, séparées par des couches obscures, formant entre les pôles du récipient comme une pile de lumière électrique. Dans la lumière rouge, les couches brillantes les plus rapprochées de la boule négative ont la forme de capsules dont la concavité est tournée vers cette boule; leur position et leur figure sont sensiblement fixes, en sorte qu'il est facile de constater sur elles qu'il y a discontinuité en passant de l'une à l'autre. La capsule extrême ne touche pas la lumière violette du pôle négatif; elle en est séparée très-nettement par une couche obscure, au moins quand on n'emploie pas le bichlorure d'étain pour former le vide; cette couche obscure peut être plus ou moins grande, suivant la nature des vides et leur perfection; on peut la rendre très-considérable en se servant de l'essence de térébenthine pour former le vide du récipient. Le phénomène de stratification est donc facile à constater pour les trois ou quatre couches qui avoisinent la lumière bleue du pôle négatif; mais la lumière rouge contient une multitude de couches brillantes, et il importe de constater pour elles qu'il y a discontinuité en passant de l'une à l'autre. Ces couches ne sont pas toutes d'une même espèce de rouge, et cette variété est très-sensible lorsqu'on emploie le bichlorure d'étain; leur forme est aussi très-diverse, suivant la nature des vides, le degré de leur perfection, le rang de la couche, la distance des boules; en outre, pour une même couche, cette forme et cette position ne paraissent pas

fixes, et il semble que, dans la colonne de lumière, il y a comme un mouvement ondulatoire et progressif, si les couches sont bien séparées, ou un mouvement giratoire autour de l'axe du récipient, si les couches sont plus fixées et moins séparées. Mais ces mouvements d'ondulation ou de rotation ne paraissent être que de simples illusions d'optique. »

Pour éliminer ces illusions et constater le phénomène de stratification dans toute sa simplicité, M. Quet s'y prend comme il suit. — La lumière électrique qu'on aperçoit dans le vide n'a pas une durée continue; elle consiste en une suite de décharges électriques qui se succèdent avec rapidité, et qui résultent des ruptures du courant inducteur par le marteau de l'interrupteur de l'appareil d'induction. Au lieu de laisser au marteau le jeu alternatif et très-rapide que lui donne l'électro-aimant de la machine, on peut le manœuvrer à la main, et, en le soulevant une seule fois; alors on obtient dans le vide une émission de lumière qui ne dure qu'un instant. Dans ces conditions, toutes les illusions d'optique cessent, et on voit la pile entière de couches alternativement brillantes et obscures se dessiner avec une forme fixe. En renouvelant cette manœuvre à volonté, il devient donc facile d'étudier les détails du phénomène.

Les couches de la lumière rouge ne se montrent pas seulement dans l'espace qui sépare la boule positive de la lumière bleue; elles peuvent se former tout autour de la boule positive et s'étendre jusqu'à sa tige; on en voit aussi quelquefois tout autour de la lumière bleue, soit sur la boule négative, soit même sur la tige; alors ces couches sont comme percées à leur centre pour laisser la place que doit occuper la lumière bleue.

La lumière rouge n'est pas seule stratifiée; la lumière bleue l'est aussi, et ce dernier phénomène est toujours très-nettement visible lorsque le vide est bien fait; car, in-

dépendamment d'une lueur vague qui termine la lumière bleue, on reconnaît dans cette lumière trois couches distinctes qui ont une forme et une position fixes; la couche intermédiaire est sombre, et elle paraît d'un bleue obscur, peut-être parce qu'on ne peut la voir qu'à travers la couche extérieure; par le progrès du vide, on peut donner à cette couche obscure plus de 2 millimètres d'épaisseur.

M. Quet a soumis à l'observation un assez grand nombre de vides différents entre eux, qu'il obtenait après avoir introduit dans le récipient, soit des gaz homogènes, soit des mélanges, et il a toujours obtenu le phénomène de la stratification. En variant la forme des récipients, il est parvenu à obtenir ainsi des courbes presque planes.

Comme les deux lumières stratifiées de couleur rouge et bleue sont séparées par une couche obscure dans la plupart des vides, M. Quet a pensé que peut-être en approchant les deux boules l'une de l'autre, il parviendrait à éteindre l'une des deux lumières électriques en conservant l'autre; cette prévision s'est réalisée quand l'expérience a été faite dans l'air avec une boule positive bien polie; mais dans les vides par lesquels la lumière rouge est excessivement développée autour de la boule positive, l'extinction n'est pas complète. Dans tous les cas, la lumière bleue, au lieu de s'affaiblir ou de se contracter lorsque la lumière rouge disparaît complétement ou partiellement, se ravive au contraire et s'étend plus au loin le long de la tige négative, si déjà elle n'en occupe pas toute la longueur.

En cherchant quelle peut être la cause de cette augmentation d'éclat que prend la lumière bleue, M. Quet a été amené à faire des expériences sur la conductibilité électrique du vide. Dans l'un des conducteurs qui amenaient l'électricité au récipient, il a donc interposé un galvanomètre très-délicat, et s'est assuré que tant que le vide n'est pas suffisamment avancé, le galvanomètre

n'indique rien; en sorte que, dans ces conditions, le gaz raréfié isole l'électricité de la machine. Le galvanomètre n'indique rien encore lorsque l'étincelle électrique éclate par intervalles rares entre les boules; mais lorsque le vide est assez avancé pour que les décharges successives donnent l'apparence d'une lumière continue, l'aiguille du galvanomètre commence à se dévier et à indiquer l'existence d'un courant électrique. La lumière qu'on observe alors est cette lumière rouge du pôle positif dont nous avons parlé plus haut; la boule négative reste encore obscure ou n'offre que des traces de lueurs dans cette partie de sa surface qui est opposée à la boule positive. Si on raréfie davantage le gaz, l'aiguille du galvanomètre se dévie de plus en plus et indique ainsi que le vide devient plus conducteur; lorsque les boules sont à 0^{m},1 de distance, on peut, de cette manière, porter l'aiguille du galvanomètre à 30° et au delà. Lorsque la lumière bleue est bien développée sur la boule et sur toute la longueur de la tige négative, ce qui suppose un vide très-bien fait avec une exellente machine pneumatique, si on approche les deux boules l'une de l'autre, on voit l'aiguille du galvanomètre se dévier encore davantage et de plus en plus, à mesure que la proximité des boules est plus grande; la déviation peut être portée à 80° environ. — Il résulte de ces expériences que les différents vides sont conducteurs des courants électriques, et qu'ils offrent une résistance plus ou moins considérable suivant leur degré de perfection et suivant l'épaisseur de vide que l'on emploie.

Pour obtenir de belles stratifications avec le procédé de M. Grove, voici comment on dispose l'expérience : — Un morceau de phosphore blanc et bien nettoyé est placé sur la boule inférieure de l'œuf électrique, dans une capsule de platine, et l'on attache à la tige de la boule supérieure un petit godet en verre ou un bout de tube, dans lequel on

a placé un morceau de potasse. Quand on a fait le vide à 0m,05 de pouce, on voit de belles stratifications sillonner la lumière cramoisie sur une longueur qui peut s'étendre jusqu'à un pied anglais.

Quelle est la cause de ces stratifications? C'est ce que l'on n'a pu éclaircir jusqu'à présent d'une manière bien précise. Ce qui est certain, c'est que leur largeur et leur nombre dépendent non-seulement de la nature des vapeurs introduites dans l'œuf, mais encore de la forme même de l'œuf et de la tension du courant induit. Ainsi, en faisant agir le courant induit, créé sous l'influence d'une pile de 30 éléments, et fortement condensé d'après le système de MM. Masson et Grove, aucunes stratifications ne se sont montrées dans l'œuf électrique, et, chose plus extraordinaire, la couleur si différente de la lumière électrique aux deux boules de l'œuf est demeurée la même, c'est-à-dire uniformément blanche. On aurait dit que l'œuf était rempli de gaz d'éclairage enflammé.

Une circonstance du phénomène qui pourra servir à en donner une idée plus nette et plus précise, c'est que, quand on abandonne l'expérience à elle-même pendant un certain temps, la vapeur, excessivement dilatée dans l'œuf, ne se consume pas, comme on serait tenté de le croire, par l'affaiblissement successif des stratifications. La preuve, c'est qu'en interrompant l'expérience et ne la reprenant qu'au bout d'un quart d'heure ou vingt minutes, les stratifications apparaissent de nouveau plus belles et plus brillantes que jamais.

Nous avons déjà eu souvent occasion de signaler la différence de tension de l'électricité d'induction aux deux pôles du circuit induit; dans le vide, cette différence est encore plus visible; car on peut provoquer la lumière dans l'œuf avec le pôle extérieur du circuit, tandis que l'autre pôle ne fournit aucune réaction lumineuse : la lumière ainsi

provoquée de la part d'un des pôles seulement est moins rouge et moins amplifiée que la lumière résultant des deux à la fois : elle ne constitue qu'un jet lumineux qui va d'une boule à l'autre, mais qui est entouré de lueurs blafardes provenant vraisemblablement de particules matérielles humides ou conductrices, répandues dans l'air, et qui contribuent à dériver une partie du jet lumineux. Ce qui prouve cette action, c'est qu'on peut diviser le jet lumineux, et même le dévier complétement de sa direction, quand la pile est faible, en plaçant contre les parois de l'œuf le doigt, ou tout autre corps conducteur en rapport direct avec le sol, comme on le voit[1] (V. fig. 30); mais il faut, pour que l'expérience telle que nous venons de la décrire réussisse, que le vide ne soit pas très-bien fait, sans quoi le jet de lumière rouge ne fait que se bifurquer, sans abandonner sa direction primitive.

Une chose fort curieuse, et qui démontre que l'action physique est très-complexe dans le phénomène de la coloration différente de la lumière positive et de la lumière négative, c'est que, si on introduit dans le circuit induit passant à travers l'œuf électrique une résistance considérable, la lumière rouge disparaît au pôle positif, pour faire place à une lumière bleue exactement semblable à celle du pôle négatif[2]. Pareil phénomène se manifeste, quand on fait circuler deux courants en sens inverse, à travers l'œuf électrique (V. fig. 33)[3]. M. Masson voit dans ce phénomène une preuve de la superposition et de la libre circulation de deux courants de sens contraire dans un même conducteur; mais M. Gaugain rapporte cet effet à une action de résistance qui placerait l'expérience dans des conditions telles, que la charge et la décharge se feraient à

1. J'ai le premier signalé ces effets.
2. Cette expérience est due à M. Ruhmkorff.
3. Cette expérience est de M. Masson.

travers le fil induit lui-même, sans que le courant passe à travers cette résistance. Il démontre, du reste, ce fait

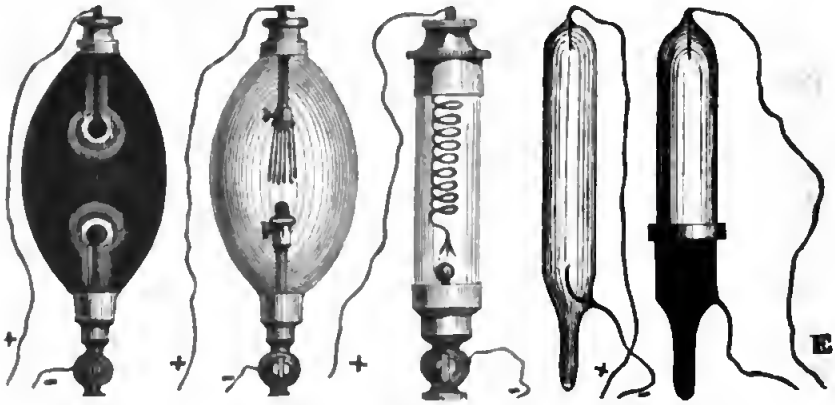


Fig. 33. Fig. 34. Fig. 35. Fig. 36. Fig. 37.

d'une manière assez ingénieuse, au moyen de sa *soupape électrique*, dont nous aurons bientôt occasion de parler. Du reste, si la résistance qu'on interpose dans le circuit est fournie par un condensateur; si, par exemple, on coupe l'un des rhéophores aboutissant aux boules de l'œuf, et qu'on mette les deux extrémités disjointes de ce réophore en rapport avec les deux armures d'un condensateur, les effets lumineux sont complétement symétriques, c'est-à-dire que chaque boule est entourée d'une lumière bleue qui se prolonge le long des tiges, et de cette lumière bleue ressort l'effluve de lumière rouge stratifiée qui est ordinairement le partage du pôle positif. Ces deux lumières stratifiées sont séparées l'une de l'autre, quand l'intervalle des boules est assez considérable, ou que le vide n'est pas bien fait; mais, dans le cas contraire, elles se confondent et semblent vibrer en sens contraire. Ce phénomène, du reste, s'explique parfaitement avec la théorie que M. Gaugain a donnée de la transmission des courants induits à travers les lames isolantes.

Si les phénomènes que nous venons d'étudier peuvent

s'expliquer par des effets de résistance qui forcent le courant induit à changer de direction, il n'en est pas de même de certains autres phénomènes qui semblent démontrer que la lumière stratifiée peut être produite dans des conditions différentes de celles que nous avons étudiées, et peut s'éteindre avec un vide très-bien fait. En effet, j'ai constaté qu'en prenant un tube très-court (de la taille environ d'un eudiomètre), en guise d'œuf électrique, et en substituant à la boule supérieure un fil fin de platine contourné en spirale et terminé par une petite boule de cuivre (voir fig. 35), on obtenait non-seulement une lumière différente aux deux pôles de l'appareil, mais encore une lumière très-énergiquement stratifiée au pôle positif, sans que pour cela le vide ait été fait sur une vapeur quelconque; cette lumière est quelquefois plus blanche que celle de l'œuf, mais en revanche la lumière bleue est plus nettement dessinée; les trois atmosphères qui la composent (rouge bleuâtre, indigo et bleu d'outremer clair) se détachent parfaitement les unes des autres et suivent toutes les sinuosités du conducteur en communication avec la boule négative, ce qui produit le plus merveilleux effet, quand le courant passe de manière à ce que ce soit la spirale de platine qui soit pôle négatif. Cette spirale alors paraît entièrement lumineuse[1] et semble être bordée d'une frange de trois bleus différents; mais là n'est pas le plus curieux du phénomène... C'est quand, après avoir perfectionné le vide, on aperçoit, soit au bas de la tige de la boule inférieure si elle est négative, soit autour des spires du fil de platine, si au contraire celui-ci est négatif, une seconde lumière rouge stratifiée, dont les strates semblent sortir des spires de l'hélice de platine quand elle apparaît de ce côté. En continuant à perfectionner le vide, le fil de

1. M. Masson avait découvert cette illumination du fil de platine dans le vide, dès l'année 1842.

platine étant négatif, cette seconde lumière stratifiée qui enveloppe l'hélice de platine vers son point d'attache avec la garniture de l'appareil s'abaisse, celle du pôle positif s'élève, et au bout de quelque instants de pompage les deux lumières stratifiées se confondent, en enveloppant entièrement le fil de platine dont la lumière bleue se trouve alors considérablement voilée. En continuant de pomper encore, on finit par éteindre la lumière rouge du pôle positif, puis la deuxième lumière stratifiée, et il ne reste plus de lumineux dans le tube que le fil de platine avec ses franges bleues, qui se trouve entouré d'une lueur d'un violet assez blafard. Un seul point très-lumineux reste sur la boule positive, et de ce point part quelquefois une lueur blanchâtre tirant quelque peu sur le vert. En renversant le sens du courant, la boule inférieure devenue négative se trouve entourée de la lueur violette dont nous venons de parler, laquelle est beaucoup plus prononcée au point de naissance de la tige et ne possède aucune stratification. Le fil de platine devenu pôle positif n'est plus illuminé, mais la boule qui le termine constitue un point lumineux très-brillant qui se détache au milieu de l'obscurité qui l'entoure comme un globe de feu. De ce globe, comme de la boule inférieure avant le renversement du courant, se détachent de temps à autre quelques lueurs stratifiées d'un blanc verdâtre, mais peu visibles. Il faut, pour que cette expérience réussisse, faire le vide à 1/2 millimètre au moins.

En laissant rentrer l'air successivement dans le tube, la couleur de la lumière change; de blafarde qu'elle était elle devient rougeâtre, puis les deux lumières rouges stratifiées se montrent de nouveau, d'abord unies ensemble, puis se séparant de plus en plus, laissant la boule qui termine le fil de platine d'un bleu magnifique au milieu d'un espace parfaitement obscur, si toutefois cette boule est négative; puis la lumière du pôle positif devient d'un rouge beaucoup plus

intense et sans stratifications, tandis que le fil de platine, très-nettement illuminé en bleu, produit le plus merveilleux coup d'œil. Enfin l'illumination de ce fil disparaît à partir de son point d'attache, la lumière rouge s'amincit et n'apparaît bientôt plus que sous la forme d'un arc lumineux rouge qui se ramifie de temps en temps.

J'ai répété quatre fois de suite ces expériences devant MM. Leboucher et Roger, professeurs de physique à la faculté et au collége de Caen avec une égale réussite. J'ai fait plus encore, et j'ai voulu m'assurer si, en faisant le vide pendant le passage du courant, j'obtiendrais les mêmes effets; j'ai trouvé une différence, mais je crois qu'il faut l'attribuer à des circonstances particulières; car les effets ne se montrent pas toujours de la même manière. Dans tous les cas ils méritent d'être signalés, car ils se sont reproduits plusieurs fois devant nos yeux dans les mêmes conditions. Ces phénomènes sont d'abord la non-reproduction de stratifications dans les lumières rouges que j'ai déjà signalées, et l'apparition d'une troisième lumière rouge formant une couronne assez étroite autour de la boule négative. Cette dernière lumière est accompagnée inférieurement, c'est-à-dire du côté opposé au jet lumineux, d'un segment complétement obscur qui coupe d'une manière très-nette la triple couche de lumière bleue qui entoure la boule. Du reste la lumière bleue qui ressort de cette couronne de feu forme alors comme une effluve de feu bleu. Quand la lumière est stratifiée, les traces de cette couronne de lumière rouge s'aperçoivent également, mais d'une manière beaucoup moins brillante; elles dessinent comme des espèces de cornes rougeâtres également stratifiées. Quand ce phénomène a atteint son apogée, les lumières rouges se trouvent éteintes et il ne subsiste plus que la lueur blafarde dont j'ai parlé, et qui est le signe d'un vide très-bien fait.

Je ne dois pas oublier de mentionner, comme pouvant avoir influé sur les effets dont j'ai parlé, qu'une volatilisation carbonée s'est effectuée pendant le cours de mes expériences à l'intérieur du tube dans lequel j'ai expérimenté. Il en est résulté que toute la partie supérieure de ce tube correspondante à l'hélice de platine s'est trouvée régulièrement noircie, ainsi que la boule et le fil de platine. L'autre boule a été piquée en plusieurs points. Il est vrai que l'espace séparant les deux boules n'était que de 6 centimètres environ, et que ces boules étaient vernies.

M. Gaugain, voulant se rendre compte des phénomènes si complexes que présente la lumière stratifiée, a cherché à répéter la plupart des expériences que nous avons décrites dans des conditions parfaitement déterminées, et il est arrivé à conclure :

1° Que, dans un œuf électrique *parfaitement nettoyé avec des boules et des tiges de cuivre non vernies et bien polies*, aucune stratification ne peut se montrer dans la lumière rouge du pôle positif, qui a la forme d'un fuseau ou plutôt d'une flamme de bougie; mais, en revanche, une portion plus ou moins étendue de la tige positive se trouve, comme la tige négative, enveloppée d'une couche lumineuse rosée, très-mince et d'aspect floconneux;

2° Que, quand le vide est fait sur la vapeur d'*une substance combustible*, cette dernière gaîne lumineuse qui enveloppe la boule et la tige positives disparaît pour laisser la lumière rouge, qui est devenue stratifiée, s'évaser et former une espèce de cloche, dont la base est tournée vers la boule négative, comme nous l'avons du reste indiqué sur la figure 31;

3° Que, quand l'expérience est prolongée assez longtemps, la forme de cloche de la lumière rouge stratifiée change d'aspect et reprend celle de fuseau;

4° Que, quand la boule négative est recouverte de dé-

pôts isolants, tels que du vernis, ces dépôts faisant obstacle au passage des courants le forcent à se diviser en plusieurs courants partiels, qui viennent aboutir, les uns sur la boule, les autres sur la tige, d'autres sur la virole qui porte cette tige, et chaque faisceau de courants élémentaires produit sa lumière stratifiée et son auréole négative;

5° Que, quand le vide a été fait sur un mélange d'air et de vapeurs combustibles, le phénomène de stratification varie suivant que c'est l'un ou l'autre des deux éléments qui prédomine; quand c'est l'air, la gerbe de lumière rouge est formée de cinq ou six strates de forme irrégulière d'un rouge vif, qui ont quelquefois près d'un centimètre d'épaisseur, mais qui ne persistent pas longtemps; quand, au contraire, c'est la vapeur qui est en excès, les strates sont beaucoup plus nombreux et paraissent rouges ou purpurins;

6° Que, quand le courant a traversé l'œuf pendant un certain temps, la couleur rouge disparaît graduellement et fait place à cette teinte blafarde qui est propre à la vapeur d'essence, sans qu'une interruption momentanée fasse reparaître la couleur rouge;

7° Que les strates rouges proviennent de la combustion de la vapeur introduite.

Voici comment M. Gaugain croit démontrer cette dernière hypothèse :

« L'hypothèse, dit-il, qui fait dépendre les strates rouges de la combustion de l'essence, se trouve justifiée par l'observation de certains mouvements de translation que ces strates sont susceptibles d'éprouver. Lorsqu'on observe dans les conditions ordinaires les mouvements des strates, on reconnaît aisément que la couche brillante la plus voisine de l'auréole négative est sensiblement immobile, et que les couches suivantes sont animées d'un mouvement ondulatoire d'autant plus marqué que l'on considère des couches

plus voisines du pôle positif; mais il paraît extrêmement difficile de déterminer quels sont les mouvements réels qui produisent ces apparences. Lorsqu'au contraire on interpose dans le circuit induit un petit condensateur, il devient possible d'observer certains mouvements de translation que prennent alors les strates, surtout quand l'œuf renferme un mélange convenablement dosé d'air et d'essence; on peut arriver, en effet, avec quelques tâtonnements, à obtenir des strates nuageux qu'il est très-facile de distinguer les uns des autres, en raison de leur rareté, de l'inégalité de leurs formes et de l'inégalité de leur distribution; lorsqu'on a obtenu cette espèce particulière de strates, on peut aisément constater les deux faits suivants : — D'abord si l'œuf électrique est en communication avec une machine pneumatique et qu'on mette en jeu les pistons, on voit toute la colonne des strates s'abaisser très-manifestement, chaque fois que l'on produit une aspiration; — et lorsqu'au contraire on laisse rentrer dans l'œuf une très-petite quantité d'air, les strates, qui demeurent plus nombreux, sont entraînés rapidement vers la boule supérieure sur laquelle ils paraissent s'entasser. — Ce double fait peut être observé, même avec les strates blancs. Celui que nous allons maintenant exposer, ne se produit, au contraire, qu'avec les strates rouges, et n'est bien manifeste que dans le cas où ces strates ont la forme nuageuse et irrégulière dont nous avons parlé d'abord; voici en quoi il consiste :—Si après avoir séparé l'œuf de la machine pneumatique on lui fait prendre diverses positions, on trouve que dans le cas où il est horizontal les strates se déplacent les uns dans une direction, les autres dans la direction opposée, comme s'ils étaient sollicités par deux forces attractives émanant des électrodes; mais que dans le cas où l'œuf est vertical, la presque totalité de la colonne stratifiée s'élève toujours de bas en haut.

« De ces deux observations que je ne peux pas ici discuter en détail, continue M. Gaugain, il me paraît résulter nettement que les strates brillants (blancs ou rouges) sont matériels, puisqu'ils peuvent céder à l'aspiration produite par une machine pneumatique, ou à l'impulsion résultant d'un courant d'air. En second lieu, puisque les strates rouges tendent à s'élever de bas en haut, ils sont nécessairement plus légers que le milieu qui les environne; cette légèreté spécifique est facile à comprendre si, comme je l'ai admis plus haut, les strates rouges sont dus à une combustion; suivant cette hypothèse, le premier effet des forces électriques est de séparer matériellement le milieu gazeux en tranches de natures différentes: puis le passage du courant provoquant l'inflammation des couches combustibles, ces couches s'élèvent par la même raison que la flamme de nos foyers tend à monter à l'air libre. Il reste beaucoup à faire sans doute pour compléter la théorie dont je viens d'indiquer les bases; mais je crois avoir du moins établi ce point important, que les strates sont matériels et qu'en conséquence, il faut renoncer à les attribuer, soit à un système particulier d'interférences, soit à un caractère de périodicité qui serait inhérent au mouvement électrique.

« En admettant, continue-t-il, que les stratifications rouges soient l'effet d'une combustion, on peut se rendre compte du phénomène complexe qui modifie l'aspect de la lumière pendant le cours de l'expérience, ou suivant les différentes conditions dans lesquelles on expérimente. En effet, on conçoit que la combustion ayant pour effet de faire disparaître complétement ou la vapeur ou l'air, suivant qu'il y a eu primitivement excès d'air ou d'essence, les strates rougis doivent, au bout d'un certain temps, être remplacés soit par la lumière diffuse qui caractérise l'air exempt de vapeurs, soit par les *strates blancs* qui caractérisent la vapeur d'essence.»

Bien que ces expériences fort curieuses semblent donner raison à l'hypothèse de M. Gaugain, je crois que le phénomène est beaucoup plus complexe, et que si M. Gaugain eût expérimenté avec une meilleure machine pneumatique et en faisant varier la forme des récipients, il aurait pu constater des phénomènes différents. On a déjà vu, en effet, par les expériences que j'ai citées plus haut, que les stratifications ne sont pas le propre exclusif du pôle positif; en second lieu, que ces stratifications, qui peuvent être rouges ou blanches, disparaissaient au bout d'un certain temps[1] avec un vide très-bien fait pour reparaître quand on fait rentrer un peu d'air. Ces expériences, que j'ai répétées plusieurs fois, ont été faites primitivement dans un appareil *complétement neuf* et bien séché; il est vrai que les boules étaient *vernies*, et je crois que c'est à cette circonstance qu'il faut rapporter la présence des vapeurs carbonées que j'ai signalée précédemment comme ayant pu influer sur le phénomène. Mais en admettant que ces vapeurs carbonées, en jouant le rôle de la vapeur d'essence aient pu donner lieu à ces stratifications, comment expliquer que la combustion ait pu absorber complétement les vapeurs carbonées pour donner lieu à une extinction de la lumière rouge, puisque ces vapeurs se formaient indéfiniment, et qu'en répétant pendant quatre jours de suite ces expériences j'obtenais toujours de la lumière stratifiée? Comment, en faisant rentrer un peu d'air, cette lumière stratifiée, disparue, reparaissait-elle comme par enchantement? Comment, d'après les expériences mêmes de M. Ruhmkorff, les stratifications qui disparaissent au bout d'un certain temps d'expérimentation, se montrent-elles de nouveau, après qu'on a laissé l'expérience interrompue pendant quelques instants? Je crois donc que le phénomène est beau-

1. J'ai le premier signalé ce fait.

coup plus complexe que ne l'indique M. Gaugain, et que la perfection du vide exerce une notable influence.

Dans le vide barométrique le plus parfait que nous puissions obtenir, et qui cependant ne l'est pas complétement, puisqu'il s'y trouve encore de la vapeur de mercure, l'étincelle d'induction donne lieu à une lumière complétement blanche qui remplit entièrement tout le tube. M. Masson, pour cette expérience, a recours à d'immenses baromètres dont il détache la *chambre vide*, après l'avoir fermée à la lampe et y avoir introduit deux fils de platine (voir fig. 36, 37). De cette manière, il obtient un œuf électrique avec un vide permanent. En faisant passer dans un semblable appareil le courant d'induction issu du pôle extérieur de l'appareil, M. Masson a pu, au moyen d'un anneau métallique, soit en cuivre, soit en papier d'étain, arrêter et raccourcir à volonté la lumière remplissant le tube. Ce que l'on conçoit d'ailleurs facilement puisque, d'après ce que nous avons déjà dit, le jet lumineux, en se portant sur cet anneau, réagit par condensation et produit un effet analogue à celui que nous avons déjà signalé pour les condensateurs.

Préoccupé depuis longues années des propriétés du carbone, M. Despretz a eu l'idée de soumettre, pendant un temps très-prolongé, le carbone pur à l'action de l'électricité d'induction; il fixa donc au pôle positif du circuit occupant la boule inférieure de l'œuf électrique, un morceau de sucre candi qui, comme on le sait, représente le carbone le plus pur, et pour en recevoir la sublimation, il adapta à la boule supérieure une houpe de fils de platine très-fins. Il pratiqua aussi bien qu'il le put le vide dans l'œuf, et laissant passer pendant plus d'un mois le courant entre le charbon et les fils de platine, il aperçut, au bout de ce temps, que ses fils se trouvaient recouverts d'une poussière noire, au milieu de laquelle se distinguaient quelques cristallisations. Quelle était la nature de ces cristallisations? C'était une

question bien importante à éclaircir, car le carbone cristallisé n'est, comme tout le monde le sait, rien autre chose que du diamant. Parmi ces cristaux, les uns étaient noirs, mais les autres très-petits, il est vrai, étaient parfaitement translucides et constituaient des octaèdres reposant sur un sommet. Essayés par M. Gaudin, lapidaire très-distingué, ils ont présenté tous les caractères des diamants. Ainsi on a pu polir des rubis *dans un temps très-court*, avec la poussière provenant de ces cristaux, et ces cristaux eux-mêmes ont brûlé sans résidu sensible.

Pour terminer avec les courants d'induction dans le vide, je vais entrer dans quelques détails sur les soupapes électriques de M. Gaugain.

« Si, dit M. Gaugain, on prend un œuf électrique ordinaire et qu'on recouvre d'une substance isolante la boule supérieure ainsi que la tige et la virole qui la supportent en ne laissant à nu qu'une portion excessivement petite de la surface de la boule, puis, qu'on place l'œuf ainsi préparé dans le circuit induit de l'appareil de Ruhmkorff en y faisant entrer en même temps un bon galvanomètre, on pourra constater les résultats suivants : quand les courants induits correspondant à la rupture du courant inducteur (les seuls qui traversent le vide de l'œuf) marchent de la boule couverte à la boule nue, l'intensité du courant accusée par la déviation du galvanomètre va constamment en augmentant, lorsqu'on raréfie de plus en plus l'air contenu dans l'œuf; il n'en est plus de même quand les courants induits marchent à travers l'œuf de la boule nue à la boule couverte; dans ce cas, l'intensité du courant va d'abord en augmentant à mesure que la pression de l'air diminue. Mais quand cette pression vient à descendre au-dessous d'une certaine limite, la déviation du galvanomètre décroît; pour une certaine pression elle devient nulle, et finit par changer de côté lorsque le vide est fait aussi exactement

qu'on peut le faire avec une bonne machine pneumatique. Ce sont des faits assez remarquables que cette diminution d'intensité correspondant à une diminution de pression, et ce renversement correspondant à une diminution plus grande encore; mais je ne cherche pas en ce moment à les interpréter, il suffit, pour le but que j'ai en vue, celui d'isoler les courants partiels alternativement de sens contraire qui composent certains courants, de constater le fait principal qui consiste en ce que les courants traversent librement l'œuf en marchant de la boule couverte à la boule nue, et ne peuvent pas suivre la direction inverse lorsque le vide est convenablement fait; il résulte de là, que l'œuf électrique, disposé comme il vient d'être indiqué, peut jouer par rapport aux courants électriques dont j'ai parlé, le rôle que jouent les soupapes par rapport aux courants liquides. »

Pour peu qu'on rapproche le phénomène que nous venons de rapporter, de ceux que nous avons signalés eu égard à l'inégal pouvoir lumineux des courants induits à travers les lames isolantes, suivant qu'ils marchent d'une petite surface conductrice à une plus grande, et *vice versa*, on pourra retrouver une certaine analogie d'effet électrique qui peut avoir pour origine une même cause. Il serait peut-être un peu prématuré de la préjuger dès à présent, mais je me réserve de revenir plus tard sur cette question.

Nous allons voir maintenant comment M. Gaugain s'est servi de ses soupapes électriques, pour démontrer la transmission des courants induits à travers les corps isolants.

« Je suppose, dit-il, que le verre à vitre ou le corps isolant, revêtu de ses deux plaques métalliques soit placé horizontalement, et que la surface métallique inférieure ait été mise en communication avec le pôle négatif du courant induit de l'appareil d'induction; si on établit deux communications différentes A et B entre le pôle positif de l'appareil

et l'armature supérieure de cette espèce de condensateur, que dans chacune de ces portions du circuit on fasse entrer d'abord un galvanomètre, puis une soupape, et qu'on dispose les deux soupapes de telle manière que les courants puissent cheminer dans le circuit A du pôle au condensateur, et qu'au contraire ils ne puissent marcher dans le circuit B qu'en se dirigeant du condensateur vers le pôle; il est aisé de prévoir ce qui arrivera dans chacune des deux hypothèses que l'on peut poser pour la transmission de ces courants induits. Si la direction des courants est constante, ils passeront exclusivement dans le circuit A, ou exclusivement dans le circuit B, suivant la direction du courant inducteur. Si au contraire le mouvement électrique est formé par la succession de deux courants alternativement opposés. Les deux circuits A et B seront parcourus simultanément par des courants de direction opposée, et la direction de chacun de ces courants, déterminée par la seule disposition de la soupape, sera indépendante de la direction du courant inducteur. Or, c'est de cette dernière façon que les choses se passent; l'existence des courants qui traversent à la fois les circuits A et B peut être constatée, soit par l'apparition simultanée de la lumière dans les œufs électriques, soit par la déviation des galvanomètres. Les intensités des deux courants diffèrent très-peu l'une de l'autre ; on en jugera par les nombres suivants : dans une de mes expériences, la déviation correspondant au courant qui produisait la charge du condensateur a été de 63°, la déviation correspondant au courant qui effectuait la décharge a été de 61°. Il résulte évidemment de cette expérience, que le mouvement électrique qui se propage dans le circuit interrompu par l'interposition d'une lame isolante est formé par la succession de deux courants alternatifs. »

Ce résultat permet de se rendre compte du fait que j'ai signalé au commencement de ce chapitre, je veux parler

des apparences lumineuses symétriques que l'on observe dans le vide de l'œuf (dont les deux boules sont nues), quand on oppose deux courants induits, égaux. Ainsi que M. Gaugain l'a fait voir dans un précédent mémoire, les effets observés proviennent exclusivement de l'un des deux appareils d'induction employés; mais le mouvement électrique qui leur donne naissance, se propageant à travers un milieu jouant le rôle de corps isolant à cause de la superposition de courants contraires, se trouve dans le cas des courants qui viennent d'être étudiés, et doit être formé par la succession de deux courants opposés. Or, ces courants se succédant dans un intervalle de temps plus court que la durée des sensations visuelles, les apparences lumineuses qui se manifestent doivent être le résultat de la superposition des apparences que produiraient les courants *de charge* d'une part et les courants *de décharge* de l'autre, s'ils agissaient isolément : tel est effectivement le résultat observé.

IV.

TRANSMISSION DES COURANTS INDUITS A TRAVERS LES CORPS DE CONDUCTIBILITÉ SECONDAIRE.

L'air sec, comme on l'a vu, est, par rapport à l'électricité, un corps isolant, et en cette qualité, il présente une résistance d'autant plus considérable que la couche qui s'oppose à la transmission électrique est plus épaisse.

D'après cela, on comprend que tel moyen qu'on emploiera qui aura pour effet de diminuer cette résistance opposée par l'air, facilitera la décharge, et partant celle-ci pourra s'effectuer de plus loin. C'est ainsi qu'en faisant le vide dans le tube électrique, on obtient une étincelle de plusieurs mètres de longueur, lorsqu'à l'air libre cette étincelle n'a guère que 8 ou 10 centimètres.

Le vide n'est pas le seul moyen de détruire la résistance opposée par l'air. Un corps qui sera interposé entre les deux points où les électricités contraires sont accumulées, pourra favoriser leur recomposition. Mais pour que celle-ci ait lieu avec déflagration et production de lumière, il faut que ce corps intermédiaire soit *d'une insuffisante conductibilité*, c'est-à-dire qu'il soit assez bon conducteur pour permettre aux électricités développées de vaincre la résistance qui leur est opposée par l'air, mais pas assez bon conducteur pour les contenir entièrement; ce sont ces corps auxquels on a donné le nom de *conducteurs secondaires*. Ils sont assez nombreux : les corps métalliques, réduits à une grande ténuité ou à une épaisseur infiniment petite comme les dorures, les limailles métalliques, les poussières de charbon, les liquides très-divisés ou déposés en couches infiniment minces, les gaz de faible densité ou l'air dilaté, les particules matérielles entraînées par les courants électriques eux-mêmes, sont autant de conducteurs secondaires comparés à l'air sec. Leur présence entre deux foyers d'électricité doit donc non-seulement faciliter la décharge, mais encore la provoquer *à une distance beaucoup plus grande*.

Pour s'assurer de ce fait par l'expérience, il suffit de comparer l'étincelle échangée entre les deux conducteurs de la machine de Ruhmkorff en deux points éloignés de la tranche dorée d'un livre, à l'étincelle directe échangée à l'air libre. Cette dernière n'a guère qu'un centimètre de longueur, tandis que sur la dorure elle peut atteindre jusqu'à 60 centimètres et plus. Dans ce cas on ne peut attribuer l'allongement à une série de petites étincelles se succédant l'une à l'autre comme dans le carreau étincelant, car la dorure forme un tout compact sans solution de continuité, surtout quand elle est neuve, et c'est alors que l'étincelle est la plus longue et la plus brillante. Il est même

dans cette expérience un phénomène assez curieux, qui montre qu'une partie de l'électricité passe à l'état latent à travers la dorure, ou que les particules de cette dorure se trouvent impressionnées indépendamment de la transmission de la décharge : c'est le prolongement de l'étincelle au delà des points de contact des conducteurs (voir fig. 38).

Fig. 38.

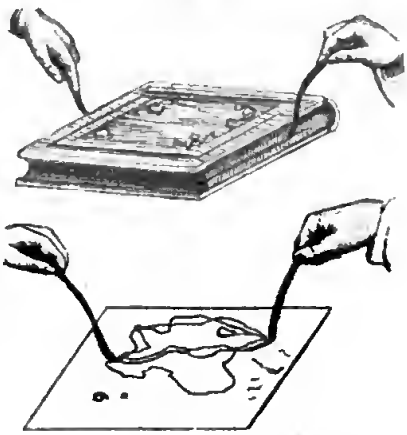


Fig. 39.

Pour que les conducteurs secondaires agissent comme il a été dit précédemment, il n'est pas besoin qu'une communication directe les relie aux deux foyers d'électricité. Dès lors qu'ils sont dans le voisinage, à une distance moindre que celle qui sépare ces deux foyers, la décharge s'opère à travers le conducteur secondaire en prenant, par conséquent, un chemin beaucoup plus long. Il y a une foule de manières de prouver directement ce fait par l'expérience, mais la plus sensible de toutes, parce que l'étincelle est visible dans tout son parcours, c'est de provoquer la décharge électrique des deux conducteurs de la machine de Ruhmkorff à une petite distance de la flamme d'une bougie. On voit alors, comme nous l'avons déjà fait observer, le jet électrique se recourber pour passer par la flamme, qui est

dans ce cas le conducteur secondaire, par suite de la dilatation extrême de l'air dans l'espace qu'elle occupe.

Il résulte de ce qui précède qu'un conducteur secondaire, non homogène, doit rendre sinueuse l'étincelle qui le traverse, tandis qu'au contraire un conducteur homogène la transmettra en ligne droite. En effet, l'électricité, au milieu de toutes les particules matérielles qui composent ce conducteur non homogène, devra suivre de préférence celles dont la position et l'agrégation lui fournissent le moins de résistance possible. Or, comme les particules dans de pareilles conditions sont loin de se trouver sur la même ligne droite, il s'ensuit forcément que l'étincelle doit prendre un chemin plus ou moins sinueux. D'un autre côté, comme plusieurs combinaisons différentes de ces particules peuvent répondre à la même résistance, il doit arriver que l'étincelle se divise, se ramifie, et présente plusieurs sillons de feu plus ou moins sinueux.

Avec de la limaille de cuivre dont on saupoudre une planche vernie, le phénomène se montre de la manière la plus sensible et la plus brillante. J'ai obtenu jusqu'à 8 sillons de feu de plus d'un décimètre de longueur avec la machine de Ruhmkorff. Ces sillons de feu varient de couleur suivant la nature des métaux. Avec le cuivre ils sont d'un jaune verdâtre, avec le zing d'un bleu prononcé; ils sont rouges avec le fer et l'acier, seulement avec ce dernier métal ils sont accompagnés de petites déflagrations étoilées du plus curieux effet.

Lorsque le conducteur non homogène présente, dans quelques-unes des parties parcourues par l'étincelle, des aggrégations considérables de particules conductrices, et qu'il devient par conséquent, en ces endroits, bon conducteur, l'étincelle présente des solutions de continuité d'autant plus grandes que ces parties elles-mêmes devenues conductrices sont plus étendues.

D'après les raisonnements qui ont servi à rendre compte de la forme en zigzags des étincelles dans les conducteurs non homogènes, on peut préjuger de ce qu'elles doivent être dans les conducteurs homogènes. En effet, rien ne favorisant alors d'une manière particulière l'action électrique, c'est la ligne droite qu'elles doivent suivre, et c'est en effet ce que l'on peut reconnaître quand on provoque l'étincelle sur la tranche dorée d'un livre.

L'eau, considérée dans sa masse, est bonne conductrice de l'électricité; mais à l'état de division ou distribuée par couches infiniment minces, elle peut servir de conducteur secondaire en présentant les phénomènes précédents.

Versez, par exemple, une goutte d'eau sur une planche vernie et répandez-la avec le doigt, de tous côtés, jusqu'à ce qu'elle ne forme plus qu'une couche très-mince et très-divisée par le vernis, l'étincelle s'échangera au travers comme dans le cas de la limaille métallique; seulement elle sera plus brillante et plus nette dans ses contours, et changera de couleur suivant que la couche d'eau sera plus ou moins épaisse. Dans le premier cas, elle sera violette, interrompue et terminée le plus souvent par une *boule de feu rouge*. Dans le second, elle sera d'une blancheur éblouissante et quelquefois bleuâtre (voir fig. 39).

Avec ce genre de conducteurs secondaires, les ramifications de l'étincelle sont très-nombreuses et moins mobiles que dans le cas de la limaille métallique; elles se tracent pour ainsi dire un chemin liquide continu que l'on retrouve aisément après chaque étincelle, et qu'elles suivent jusqu'à ce que les conditions physiques des parties avoisinantes aient changé ou se soient modifiées par l'évaporation.

La vapeur d'eau condensée à l'état vésiculaire doit évidemment jouer un rôle analogue pour l'électricité développée à très-haute tension et en grande quantité. Il est vrai que je n'ai pu obtenir rien de très-particulier en faisant

passer l'étincelle à travers de la vapeur d'eau bouillante; mais l'électricité produite par la machine de Ruhmkorff est développée en si petite quantité, que cette expérience négative ne prouve absolument rien. En ouvrant, en effet, la célèbre notice de M. Arago sur le tonnerre, je vois que dans certains orages observés par MM. Rozier et Nicholson, quelques-uns des nuages orageux étaient *lumineux* par eux-mêmes; que d'autrefois on a observé des brouillards de la même nature dont l'éclat disparaissait à la suite de la décharge électrique. Il serait, du reste, surprenant qu'il n'en fût pas ainsi, puisque les nuages peuvent être de différentes densités, et qu'ils sont suffisamment conducteurs pour porter la foudre dans leur sein.

J'ai voulu m'assurer si l'intervention d'un conducteur secondaire au milieu d'un bon conducteur, tel que l'eau, n'en changeait pas les conditions de conductibilité. J'ai pour cela saupoudré de limaille métallique la surface d'un liquide acidulé, et je me suis convaincu, à mon grand étonnement, que l'étincelle, au lieu de passer à l'état latent à travers le liquide, se propageait avec les mêmes caractères que si la limaille eût été placée sur un corps isolant. Il faut donc que le conducteur secondaire, malgré ses solutions de continuité, présente moins de résistance à la transmission électrique que le liquide.

Les réactions électriques par influence provoquent, de la part des corps qui en subissent l'effet, un mouvement d'attraction qui se comporte d'une manière toute particulière dans plusieurs cas, et auquel il faut attribuer vraisemblablement les effets si singuliers de transport occasionnés par la foudre.

Ce mouvement d'attraction varie, suivant que les corps influencés, que nous supposons très-légers par rapport à l'effet électrique, sont plus ou moins bons conducteurs de l'électricité.

Avec les conducteurs secondaires, tels que la limaille métallique, l'eau très-divisée, la réaction par influence a pour effet de réunir ensemble les divers grains métalliques ou les très-petites gouttelettes d'eau qui sont dans le voisinage du chemin que doit parcourir l'étincelle, de manière à constituer un conducteur le plus continu possible. C'est ainsi qu'on peut, en s'y prenant avec soin, soulever, au bout des conducteurs de la machine de Ruhmkorff, une houppe de grains de limaille qui peut atteindre quelquefois jusqu'à 3 centimètres de longueur. C'est ainsi, comme nous l'avons constaté précédemment, que l'étincelle échangée à travers un conducteur secondaire liquide, se crée un chemin continu qu'elle suit tant que les conditions de ce conducteur restent les mêmes.

Quand les corps influencés sont moins bons conducteurs, ils se trouvent d'abord attirés, puis ensuite rejetés sur le côté, à une distance plus ou moins grande, suivant la force électrique. C'est ce que l'on constate quand on fait agir le courant de la machine de Ruhmkorff sur de la poussière de charbon, ou de la cendre, ou même de la poussière ordinaire. Les conducteurs, dans ce cas, agissent pour ainsi dire comme des soufflets.

Enfin, l'action attractive de l'électricité sur l'eau a pour effet de la soulever au-dessus de son niveau ou de déterminer son écoulement quand il y a lieu. Ainsi, si vous répandez sur un plateau de marbre une goutte d'eau et que vous y plongiez un des conducteurs de la machine de Ruhmkorff, tandis que de l'autre vous exciterez l'étincelle à distance, l'eau se trouvera entraînée, et pour peu que vous donniez suite à l'expérience, vous pourrez former une véritable rigole aussi longue et aussi contournée que vous le voudrez.

Les conducteurs secondaires doivent évidemment jouer un rôle considérable dans les orages atmosphériques, puisqu'ils existent sous plusieurs formes, et plusieurs états phy-

siques différents dans l'atmosphère. Ces conducteurs secondaires sont la vapeur d'eau condensée, la pluie, les courants d'air inégalement dilatés. En intervenant au milieu de la décharge, ils doivent nécessairement la faciliter, et pour ainsi dire la conduire. C'est ainsi qu'il est possible d'expliquer la longueur énorme des éclairs (de 1,900 à 3,000 mètres), leurs zigzags plus ou moins capricieux, et une foule de phénomènes particuliers qui les accompagnent.

Les preuves de cette conductibilité secondaire dans les décharges atmosphériques sont de plusieurs sortes :

Je trouve, par exemple dans l'ouvrage de M. Arago sur le tonnerre, plusieurs observations qui prouvent que la *présence dans l'air d'un courant ascendant humide* peut attirer la foudre. Comment peut-il l'attirer si ce n'est en lui offrant une conductibilité secondaire ?

Dans un autre passage je vois que quelquefois pendant de grands orages les *gouttes de pluie et même aussi les flocons de neige et les grêlons produisent de la lumière en arrivant à terre ou même en s'entre-choquant*. N'est-ce pas ce qui arrive dans les expériences des conducteurs secondaires dont j'ai parlé ?

D'un autre côté, M. Quetelet assure que ce n'est qu'à l'approche des orages ou pendant *les pluies, les grêles et les neiges, etc., avec les bruines, les brouillards et tous les phénomènes aqueux* en général, que le galvanomètre fournit des indications; mais que c'est surtout *au moment de l'apparition de l'éclair* que l'aiguille se met brusquement en mouvement.

Enfin, je lis dans le traité de météorologie de Kaemtz, que les averses qui accompagnent les orages ont une grande influence sur l'état électrique de l'air, dont elles augmentent la *tension au point de motiver à elles seules des éclairs et du tonnerre.*

Ces observations, jointes à celles des nuages et brouillards

lumineux dont j'ai déjà parlé, ne sont pas neuves et sont pourtant concluantes : comment se fait-il que certaines personnes aient trouvé plus vraisemblable l'hypothèse de la décharge électrique pure et simple, qui ne rend nullement compte des circonstances du phénomène? Il est vrai que si j'avais présenté une hypothèse incroyable, si j'avais fait parler des tables ou évoqué des morts, j'aurais peut-être été cru davantage [1].

V.

EFFETS PHYSIQUES DE L'ÉTINCELLE D'INDUCTION.

Effets lumineux. — Priestley, Wollaston et Fraunhofer sont les premiers qui aient étudié les spectres de l'étincelle électrique. Mais les mauvaises conditions dans lesquelles ces savants s'étaient placés les avaient empêchés d'étudier d'une manière complète le phénomène. C'est M. Masson, qui jusqu'à présent a étudié le plus sérieusement cette question dans deux mémoires fort importants qu'il a publiés, l'un en 1851, dans les *Annales de physique et de chimie*, l'autre, en 1853, dans les mémoires de l'Académie de Harlem. Ce dernier mémoire lui a valu le prix proposé cette année-là par cette société savante.

Dans ces mémoires, M. Masson analyse le spectre de l'étincelle produite par les machines, par les piles et par la machine de Ruhmkorff, non-seulement suivant les différents métaux entre lesquels la décharge électrique s'effectue, mais encore suivant les milieux gazeux ou liquides dans lesquels est placé l'excitateur. Il résulte de ces expériences :

1° Que la lumière électrique, quelle que soit sa source,

1. Voir mon Mémoire sur les éclairs dans les *Mémoires de la Société des sciences naturelles de Cherbourg*. 2 vol.

possède les mêmes propriétés, qu'elle soit continue ou instantanée;

2° Que le spectre de la lumière électrique présente des raies brillantes qui sont indépendantes de la source de cette lumière et du milieu (aériforme) où elle est produite, et dont le nombre et la position ne dépendent que de la nature des métaux entre lesquels elle apparaît;

3° Que le spectre de la lumière électrique fournie au sein d'un liquide ne présente aucune raie brillante quand il n'y a pas transport de la matière des électrodes servant d'excitateurs;

4° Que dans tous les spectres on retrouve invariablement quatre ou cinq raies communes qui diffèrent quelquefois par leur intensité, mais qui ne manquent jamais;

5° Que le spectre de l'étincelle fournie par la pile présente moins de raies que celui de l'étincelle des machines, mais que cela tient à la faible intensité de l'arc voltaïque et au peu de tension du courant;

6° Que dans les spectres fournis par les différents métaux, l'une ou l'autre des couleurs prédomine aux dépens des autres, et que c'est précisément dans cette couleur que se trouvent les raies les plus brillantes;

7° Que l'étincelle électrique est un phénomène résultant de la température élevée jusqu'à l'ignition d'une portion d'un conducteur solide, liquide ou gazeux qui propage un courant électrique quelconque;

8° Que les raies brillantes sont produites par l'incandescence au sein de l'étincelle des particules pondérables arrachées aux rhéophores et transportées par le courant;

9° Que les différences d'intensité de ces raies brillantes doivent être attribuées à des aptitudes de la matière à vibrer de préférence certaines ondulations lumineuses;

10° Que le transport des particules matérielles en ignition peut contribuer à augmenter l'intensité de l'étin-

celle, mais sans en être la cause, puisque l'étincelle peut exister dans les liquides sans qu'il y ait pour cela transport de matière.

Lors de ses premières expériences, M. Masson s'était servi de la machine électrique, et l'on peut facilement comprendre combien il dut rencontrer de difficultés. Mais aussitôt que l'appareil de Ruhmkorff put donner des étincelles suffisamment fortes, il s'empressa de répéter avec cet instrument, qu'il munit à cet effet du condensateur dont

Fig. 40.

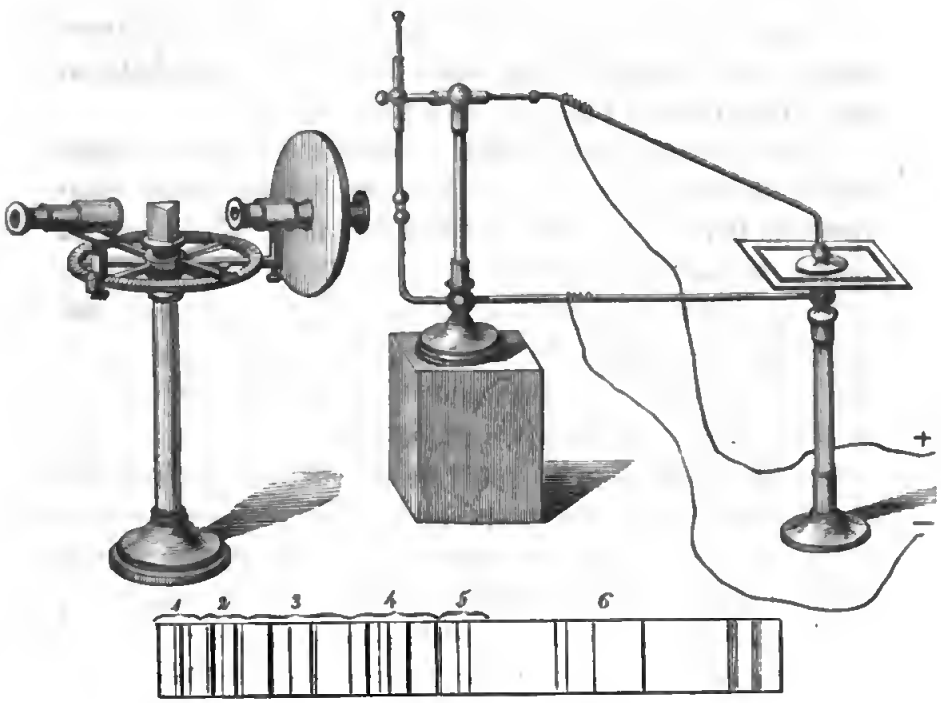


Fig. 41.

nous avons parlé (page 13), toute sa série d'expériences, et il put reconnaître la parfaite identité d'action physique de cette nouvelle source électrique avec celles qu'il avait employées primitivement.

Avec l'appareil de Ruhmkorff, toutes ces expériences, qui sont non-seulement excessivement intéressantes au point de vue scientifique, mais encore curieuses à voir, peuvent se faire avec la plus grande facilité. Il suffit d'un excitateur de Lânes, dont les boules puissent se dévisser facilement et se rapprocher à volonté, et d'un goniomètre de M. Babinet, sur le plateau duquel on place un prisme très-dispersif, comme on le voit fig. 40.

Chacune des branches de l'excitateur est en rapport avec une des armures du condensateur, et l'étincelle est reportée à la hauteur de la lunette fixe du goniomètre. Cette lunette est munie d'une fente très-étroite et d'un écran noirci pour empêcher la lumière qui ne doit pas être analysée de troubler l'expérience. Le prisme en flint de Faraday est fixé verticalement sur la glace du goniomètre avec de la cire molle, et quand on l'a placé par rapport aux rayons envoyés à travers la fente, au minimum de déviation, on reçoit le spectre dans la lunette mobile qu'on a eu soin préalablement de régler jusqu'à ce qu'on ait pu apercevoir d'une manière distincte l'image de la fente et les fils croisés. Le spectre alors n'apparaît pas tout entier dans la lunette mobile, mais après que celle-ci a été fixée à l'aide d'une vis de pression, il suffit de tourner la vis de rappel qui se trouve à droite de la lunette pour que toutes les couleurs, avec leurs raies, apparaissent successivement.

Le cadmium donne des raies bleues et vertes très-belles; c'est un des plus beaux spectres qu'on puisse voir (fig. 41).

L'antimoine fournit beaucoup plus de raies brillantes que les autres métaux, mais sans couleur dominante; l'étincelle est très-blanche.

Le bismuth présente les mêmes caractères que l'antimoine.

Le plomb est remarquable par l'étendue violette de son spectre et les belles raies que présente cette couleur.

Le zinc est caractérisé par le vert-pomme très-étendu de son spectre.

Le charbon qui n'est pas volatile ni fusible est remarquable par la multitude des raies brillantes de son spectre.

Le fer et l'étain n'ont rien de bien particulier.

Le spectre de l'argent est caractérisé par le vert très-intense, et plusieurs raies dans cette couleur qui sont d'une grande beauté.

L'or contient plus de jaune que l'argent, et des lignes violettes très-remarquables.

Le platine n'offre rien de particulier.

Pour étudier les spectres de l'étincelle électrique dans les gaz, on prend une petite cloche hermétiquement fermée (Voir fig. 42),

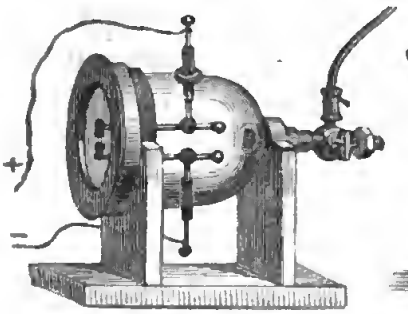


Fig. 42.

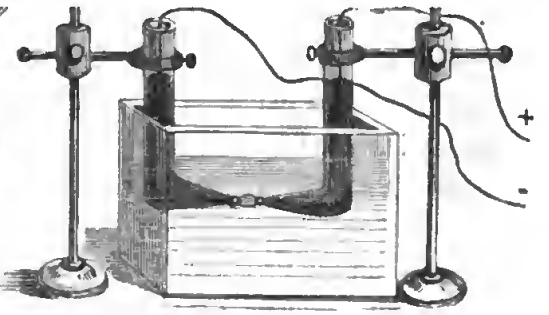


Fig. 43.

dans laquelle on fait arriver le gaz que l'on veut étudier, soit par l'ouverture d'un robinet en rapport avec la source du gaz, soit par tout autre moyen. On fait traverser cette cloche par un excitateur muni de ses deux boules, et on étudie l'étincelle à travers le verre qui garnit le fond de la cloche, de la même manière qu'à l'air libre; on s'assure alors que tous les spectres des différents métaux sont identiquement les mêmes qu'à l'air libre.

Pour les liquides, l'expérience se prépare comme il a été

dit pour provoquer l'étincelle dans l'eau, et comme l'indique du reste la fig. 43.

Fluorescence. — Depuis longtemps on avait remarqué que le spath-fluor et certains diamants jaunes conservaient, après avoir été électrisés, une phosphorescence particulière, mais ce phénomène, d'ailleurs très-difficile à constater, n'avait alors rien de bien remarquable comme résultat expérimental. Dernièrement, M. Faraday s'est imaginé de soumettre à l'action lumineuse de l'étincelle d'induction dans le vide, le verre teint avec de l'oxyde d'urane. Il a reconnu alors, que non-seulement cette phosphorescence se manifestait d'une manière extrêmement sensible, mais encore qu'en agitant un pareil verre devant la lumière rouge de l'œuf électrique, on en multipliait 8 ou 10 fois l'image. Cette lame de verre, quand le mouvement n'était pas très-grand, apparaissait dans l'obscurité comme les feuillets ouverts d'un livre. Quand le mouvement était plus étendu, les images du verre apparaissaient à une plus grande distance les unes des autres, et sur toute l'étendue de l'arc décrit par le bras (Voir fig. 44).

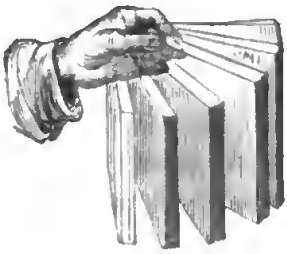


Fig. 44.

L'explication de ce dernier fait est assez simple : l'étincelle continue de l'appareil de Ruhmkorff n'est, comme on le sait, qu'une série de petites étincelles se succédant à des intervalles très-rapprochés. Devenant phosphorescent sous

l'influence de chaque étincelle, le verre en mouvement se trouve éclairé par chacune d'elles dans une position différente, et en raison de la persistance de l'impression visuelle, il doit devenir visible aux différents points de son trajet où les étincelles l'ont surpris. Quant à la phosphorescence ou fluorescence, comme on l'appelle aujourd'hui, elle est plus difficile à expliquer. M. Masson croit que ce phénomène est le résultat d'un mouvement vibratoire imprimé au corps par les vibrations mêmes du fluide lumineux, et que ce sont les rayons violets des spectres qui jouissent de cette propriété. Suivant M. E. Becquerel, ce phénomène proviendrait de ce que les corps, non-seulement sont susceptibles de vibrer par l'influence d'ondulations lumineuses lorsque celles-ci les frappent, mais encore de ce que certains d'entre eux ont la faculté d'être impressionnés par des ondulations de longueur déterminée, et qu'une fois en vibration, ils continuent à conserver cet état un certain temps après que l'action a cessé. Ces corps constitueraient alors précisément les corps phosphorescents. Quoi qu'il en soit, voici un autre cas de fluorescence non moins remarquable, qui a été pour la première fois signalé par M. E. Becquerel.

Le sulfate de quinine vu à la lumière ordinaire est blanc, et n'a pas de caractères bien particuliers. Si on le dissout dans de l'eau acidulée avec de l'acide tartrique, et qu'on peigne avec cette dissolution un sujet quelconque sur une feuille de papier blanc, ce dessin ne se verra pas quand il sera exposé à la lumière du jour, mais placé devant la lumière de l'œuf électrique il apparaîtra immédiatement avec une phosphorescence admirable d'un beau gris lavande, et se détachant en clair sur un fond violet.

Voici dans quelle proportion les substances qui doivent produire ce curieux phénomène doivent entrer dans la dissolution :

Eau ordinaire. . .	5 centimètres cubes (5 grammes).
Acide tartrique. .	un volume égal à une pièce de 1 fr.
Sulfate de quinine.	un volume égal à une pièce de 1 fr.

Ces proportions d'eau, d'acide tartrique et de sulfate de quinine ne sont pas nécessaires au succès de l'expérience, on peut les varier à volonté.

Du reste, cette expérience n'est pas le propre de l'étincelle d'induction, on peut la reproduire avec toute espèce de lumière violette qu'on voudra, soit qu'elle provienne d'un verre coloré, soit qu'elle résulte du spectre d'un rayon lumineux quelconque. C'est par cette expérience, que M. Stokes croit démontrer qu'il existe au delà du violet des rayons invisibles, susceptibles seulement de se montrer quand ils agissent sur certaines substances déterminées qui peuvent être assez nombreuses. Aussi les appelle-t-il les *rayons chimiques du spectre*. Cette explication a été controversée par M. Eisenhlor de Carlsrhue, qui prétend à son tour que ces rayons invisibles ne sont qu'un effet d'interférences. Comme on le voit, la question est encore loin d'être éclaircie (voir le *Traité d'électricité* de MM. Becquerel, vol. I, p. 362).

Effets calorifiques. — Nous avons vu, au commencement de cette notice, comment on pouvait obtenir la fusion de fils de fer très-fins, et nous avons constaté par là l'inégal pouvoir calorifique des pôles des courants induits. D'après M. Quet, il paraîtrait que cette fusion ne serait pas aussi facile à obtenir de la part des fils de platine, et qu'il faudrait pour cela enfermer presque complétement ces fils servant de rhéophores dans les baguettes de Wollaston, en ne les laissant sortir du verre que de quelques centimètres. Dans cette expérience, le fil de platine lorsqu'il devient incandescent ou qu'il fond, s'entoure d'une auréole violette s'il est négatif. « On obtient plus facilement encore, dit M. Quet, l'in-

candescence et la fusion du platine en accouplant deux machines de Ruhmkorff. »

Voulant s'assurer de la concordance des effets calorifiques du courant induit avec les effets lumineux, M. Gassiot à entrepris une série de curieuses expériences qui l'ont conduit à constater :

1° Que si les fils servant de rhéophores sont scellés dans un petit tube droit (de thermomètre), aucune des extrémités ne s'échauffe, mais la décharge a lieu en remplissant tout le tube d'une lumière blanche et brillante ;

2° Que si on souffle en boules une portion quelconque du tube, la portion de la décharge qui passe par les boules s'étale en éclairant cette partie d'une lumière blanche et brillante ;

3° Que si la décharge a lieu dans un globe ou dans un tube d'un pouce environ de diamètre l'extrémité négative s'échauffe considérablement.

Dans le cours de ces expériences, M. Gassiot a remarqué que le verre à l'extrémité chauffée devenait entièrement noir. Dans l'une d'elles la chaleur de l'électrode avait fondu le verre et réduit le plomb. Il a fait en conséquence établir un autre appareil, en ayant soin, que toutes les fois qu'il expérimentait, le courant marchât invariablement dans la même direction. Le résultat a été, que l'extrémité négative est devenue tout à faire noire, et que le verre s'est trouvé en apparence oxydé en couches régulières, dont la plus intense était celle la plus voisine du fil. L'extrémité positive du verre est restée parfaitement nette ainsi que le fil de platine à l'exception de 1/92 de pouce qui paraissait recouvert d'un dépôt noir très-délié.

Effets électriques et magnétiques. — Les courants induits de la machine de Ruhmkorff ont une si faible action magnétique, que c'est tout au plus si on peut constater leur direction à l'aide d'un galvanomètre assez sensible. M. Poggen-

dorff attribue cette faiblesse d'action à la finesse du fil qui compose la spirale induite de l'appareil de Ruhmkorff, et il ajoute que si le fil de cette spirale était plus court et plus gros, on retrouverait avec ces sortes de courants les mêmes effets électro-magnétiques qu'avec ceux de la machine de Clarke. Sans contester l'explication de M. Poggendorff, je crois que cette faiblesse de réaction magnétique de la part des courants d'induction de la machine de Ruhmkorff tient aussi à leur extrême tension, qui empêche leur *induction latérale* de s'effectuer dans toute son énergie. Ainsi, en faisant passer à travers *le fil inducteur* d'une machine de Ruhmkorff le courant induit d'un semblable appareil mis en activité, on n'obtient aucun courant *induit sensible* dans la première machine; mais si on diminue la tension du courant induit employé dans cette expérience comme courant inducteur, et cela en le faisant passer à travers *le fil fin* du premier appareil, on obtient dans le circuit de gros fil un courant d'induction assez sensible. Dans ce cas, le fil fin, par la multiplité de ses spires, ne supplée pas à la *quantité* d'électricité qui paraît manquer dans les courants de haute tension; car en faisant passer à travers ce même fil fin le courant d'une pile de Daniell de huit petits éléments, qui a cependant beaucoup de tension et peu de quantité (pour le courant d'une pile), on n'aperçoit dans le gros fil aucun courant induit, tandis qu'en faisant circuler ce même courant dans le gros fil, on obtient un courant induit très-prononcé dans le fil fin. D'un autre côté, si l'on examine les réactions réciproques de deux jets de feu issus de deux machines de Ruhmkorff placées parallèlement l'une à côté de l'autre, on voit qu'elles sont nulles, quelque sens d'ailleurs qu'on donne au courant. Donc l'induction latérale est presque entièrement détruite par l'induction directe qui provoque la décharge.

Du reste, cette question des *tensions électriques* est en-

core bien peu éclaircie, et il est probable pourtant qu'elles jouent un rôle important dans les réactions extérieures de l'électricité. Suivant moi, il y aurait deux sortes de tensions, comme il y aurait deux sortes de *quantités* d'électricité; l'une de ces tensions, que j'appellerai *tension statique*, serait expansive en tous sens comme celle d'un gaz emprisonné dans une enveloppe et qui viendrait à se dilater. L'autre tension, que j'appellerai *tension dynamique*, s'exercerait dans un même sens et suivant une résultante déterminée. Au premier genre de tension appartiendrait l'électricité des machines; au second, l'électricité d'induction et même celle des courants voltaïques disposés en tension. Leur effet par rapport à la conductibilité des conducteurs serait totalement différent. C'est ce dont on peut s'assurer en faisant passer successivement au travers le fil fin de l'appareil de Ruhmkorff l'étincelle de la machine ordinaire, puis celle du courant d'une deuxième machine d'induction. Dans le premier cas, c'est tout au plus si l'étincelle électrique peut manifester sa présence, tandis que, dans le second, le courant est à peine affaibli; pourtant l'étincelle de la machine électrique, sans l'intermédiaire du circuit, s'échange de beaucoup plus loin que celle de l'appareil de Ruhmkorff [1]. Il ne faut pas d'ailleurs croire que la longueur de l'étincelle donne la mesure de son énergie. Ainsi l'étincelle fournie par les courants induits condensés d'après le système de MM. Masson et Grove est beaucoup plus courte que celle qu'on obtient par la décharge directe des rhéophores, et pourtant elle est infiniment plus énergique. Il en est de même de l'étincelle d'induction échangée entre des excitateurs terminés par des boules. Bien qu'elle soit plus courte que celle qui éclate entre des pointes, elle n'en est pas pour cela moins énergique. A ce sujet je dois faire une remarque

1. Voir mon Mémoire sur les différents modes de manifestation électrique — *Applications de l'électricité*, 2 vol.

qui montrera encore la différence considérable qui existe entre les tensions électriques : c'est que jamais on ne peut provoquer d'étincelle de la part d'une machine électrique avec un excitateur pointu, parce que l'électricité s'écoule en aigrettes, tandis qu'avec les courants d'induction l'étincelle s'échange tout aussi bien et même mieux qu'entre des excitateurs ronds.

Il en est de la quantité d'électricité comme de la tension : ainsi on ne peut guère admettre que l'électricité qui, dans une machine un peu considérable, couvre des conducteurs énormes, ne soit pas en quantité, parce qu'elle ne réagit que très-faiblement sous le rapport magnétique, tandis que celle fournie par une pile serait, par la cause contraire, en très-grande quantité. Il y a plutôt, il faut le croire, une électricité de quantité *dilatée*, si l'on peut s'exprimer ainsi, qui peut s'étendre en passant par des conducteurs de petite section sans augmenter de densité, et une électricité de quantité *condensée* ou de *superposition*, qui est celle accusée par les rhéomètres. En rapportant ces phénomènes aux vibrations, ces différentes sortes de réactions s'expliqueraient parfaitement. Mais je n'essaierai pas de le faire, car je m'écarterais considérablement du but que je me suis proposé dans cette notice.

Quoi qu'il en soit de la véritable cause de ces différences d'actions électriques, il résulte des expériences que nous avons rapportées :

1° Que les courants d'induction produits par la machine de Ruhmkorff n'ont pas de réactions magnétiques très-sensibles;

2° Qu'ils ne réagissent que très-faiblement par induction pour la création de courants induits;

3° Que leurs réactions réciproques sont à peu près nulles.

Voici maintenant deux autres phénomènes que présen-

tent les courants induits et qui doivent évidemment se rapporter à leurs réactions électro-magnétiques.

1° Si on réunit les deux pôles du circuit induit par un bon conducteur, le marteau de l'interrupteur continue à vibrer, mais moins bruyamment, et l'étincelle que l'on aperçoit toujours entre ce marteau et l'enclume disparaît complétement; de temps en temps le marteau lui-même semble attiré avec plus de force, et donnerait à supposer qu'il vient se coller contre le faisceau aimanté;

2° Quand on interrompt lentement à la main le courant inducteur, on entend dans la bobine, à chaque rupture du courant, un bruit sec analogue à une décharge électrique; il faut pour cela que le circuit induit reste ouvert.

Il serait difficile de préciser exactement les causes de ces phénomènes; mais il serait possible qu'ils aient pour origine une décharge intérieure et un effet de condensation.

Nous avons dit que des deux courants qui naissaient au moment de la fermeture et de l'interruption du courant, un seul, le courant direct, exerçait extérieurement ses effets; en sorte que les extrémités du fil induit prenaient des pôles invariables. M. Poggendorff démontre ce fait par les expériences suivantes :

« On éloigne, dit-il, les deux pôles à une distance suffisante pour qu'il n'éclate point d'étincelles; on met ensuite l'un des deux en contact momentané avec un électromètre; on obtient alors tantôt de l'électricité positive et tantôt de l'électricité négative. Mais si, au lieu d'établir le contact, on approche le fil de l'électromètre jusqu'à ce qu'il éclate entre eux une série d'étincelles, on trouve qu'un même pôle fournit constamment de l'électricité de même nature. L'expérience réussit encore mieux si, tandis qu'on présente l'un des pôles à l'électromètre, on met l'autre en commuication avec le sol. L'électromètre se charge alors à une distance

bien plus grande, et sans qu'il se produise d'étincelles visibles.

« Si l'on approche, jusqu'à la distance nécessaire pour les explosions, l'un des pôles de la spirale induite, d'un fil communiquant avec le sol, on trouve, après la cessation du courant de la pile, que toute la spirale est chargée de l'électricité correspondante à l'autre pôle. Le succès de cette expérience est subordonné à l'isolement parfait de l'appareil.

« Si l'on interpose un galvanomètre dans le circuit induit, interrompu par une couche d'air, on obtient une déviation dans un sens déterminé, celui qui correspond au courant direct; cette déviation est d'autant plus forte que le fil induit est plus gros; elle est plus constante lorsque l'interruption se fait dans l'air raréfié que lorsqu'elle a lieu dans l'air atmosphérique.

« On parvient aisément à charger une pile thermo-électrique bien isolée au moyen du courant interrompu; elle prend une polarité inverse, absolument comme elle le fait quand on la charge à l'aide d'un courant voltaïque ordinaire.

« Le courant interrompu produit des décompositions électro-chimiques, à la façon des courants ordinaires; la polarisation des électrodes de platine se produit d'une manière constante; si ces électrodes sont des fils de platine très-fins, on aperçoit un point brillant à l'extrémité du fil négatif. »

Quelle peut être la cause pour laquelle les courants induits directs peuvent seuls franchir la lame d'air interposée entre les pôles, tandis que les courants inverses sont arrêtés par elle? Ces courants inverses, dit M. Poggendorff, prennent naissance au moment de la fermeture du circuit de la pile; or, tout circuit fermé qui entoure, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur, une spirale soumise à une action inductrice, ralentit cette action et diminue considérablement la

tension des courants induits; voilà pourquoi la tension des courants inverses n'est pas suffisante pour que ceux-ci puissent traverser la mince lame d'air interposée entre les pôles; au contraire, les courants directs prennent naissance au moment où le circuit de la pile s'ouvre; aucun obstacle ne s'oppose à l'action inductrice qui produit alors très-rapidement ses effets; et le courant acquiert ainsi une très-grande tension.

L'explication qui précède se trouve justifiée par l'expérience suivante : si l'on fait passer le courant de la pile à travers l'un des deux fils seulement qui composent la spirale inductrice, et qu'aux extrémités de l'autre fil on attache deux lames de platine, à l'instant où l'on plongera ces deux lames dans un liquide conducteur, de manière à fermer ainsi le circuit du second fil, toute production d'étincelles cesse immédiatement : le voisinage d'un circuit constamment fermé ralentit alors aussi l'action inductrice directe et diminue la tension des courants directs au point de les empêcher de franchir la lame mince d'air qui sépare les pôles.

On sait que si l'on interpose entre les deux armures d'une bouteille de Leyde une tige métallique suffisamment grosse, on peut tenir à la main cette tige ainsi interposée sans que la décharge passe à travers le corps, car le métal étant meilleur conducteur que le corps humain, l'électricité suit de préférence cette route. C'est sur ce principe que sont fondés les excitateurs sans manches isolants. Pareil effet se reproduit avec les courants induits. Ainsi, si l'on réunit les deux pôles de l'appareil de Ruhmkorff par un fil métallique un peu court, on ne ressentira pas de commotions si l'on touche ces deux mêmes pôles avec les deux mains; les courants induits ne sont donc pas susceptibles de se dériver lorsque la différence de conductibilité entre les deux circuits qui lui sont alors offerts est aussi grande. Il est pourtant deux manières

d'obtenir que le courant placé dans ces conditions se dérive : la première, c'est d'augmenter considérablement la résistance du circuit métallique; la seconde, de faire en sorte que les contacts des deux dérivations avec le corps s'opèrent par l'intermédiaire de larges plaques conductrices. En opérant de cette manière, on peut graduer à volonté les commotions de l'appareil de Ruhmkorff et approprier cet instrument comme les autres appareils électro-médicaux du même genre à la médecine. Il aurait sur tous les autres appareils un avantage immense, celui de réunir ensemble les effets de l'électricité statique et de l'électricité dynamique, et de n'avoir pas de limite restreinte pour l'énergie des commotions. On pourrait de plus, en l'employant, électriser par étincelles et par aigrettes, ce qui offre des avantages dans un grand nombre de cas. Nous développerons, du reste, plus tard cette question, quand nous en serons au chapitre des applications de l'appareil de Ruhmkorff.

VI.

EFFETS CHIMIQUES DES COURANTS D'INDUCTION.

L'électricité, comme on le sait, détermine la combinaison ou la décomposition des corps; mais l'action de ce fluide est bien différente suivant qu'elle s'exerce par étincelles ou par courants.

Wollaston est le premier qui ait constaté cette différence d'action électrolytique. Il démontra que, dans le cas de la réaction électrolytique par l'étincelle des machines, l'eau se décompose presque toujours de manière à fournir aux deux pôles de la décharge les deux gaz hydrogène et oxygène mélangés, tandis que ces deux gaz sont parfaitement séparés à chaque pôle sous l'influence du courant de

la pile voltaïque. Avec les courants d'induction qui participent à la fois de l'électricité statique et de l'électricité dynamique, on était donc en droit d'attendre une combinaison plus ou moins complexe de ces deux sortes d'effets électrochimiques, et c'est en effet ce qui a eu lieu. Ainsi M. Grove a trouvé qu'en prenant pour conducteur du circuit induit les baguettes de Wollaston et en modifiant la disposition des électrodes de platine terminant ces baguettes, on pouvait obtenir :

1° La décomposition de l'eau avec les deux gaz mélangés aux deux pôles du circuit métallique;

2° La décomposition de l'eau avec les gaz mélangés à un seul des pôles;

3° La décomposition de l'eau avec les gaz séparés aux deux pôles;

4° Aucune décomposition aux pôles[1].

Dans le premier cas le fil fin de platine terminant les baguettes ne doit pas dépasser la surface du verre dans lequel il est scellé; on obtient alors, à l'extrémité de ce fil, de petites étincelles ou aigrettes qui réagissent comme l'étincelle des machines dans l'expérience de Wollaston. M. Grove a même constaté que, dans cette circonstance, l'action électrolytique était d'autant plus vive et plus prompte que ces étincelles étaient plus brillantes, condition qui dépendait principalement de la manière dont les fils de platine se trouvaient scellés à l'extrémité des baguettes. En effet, quand ces fils se terminaient un peu au-dessous du bout effilé du verre, les étincelles étaient plus brillantes que quand elles affleuraient cette pointe.

Dans le second cas le fil d'une des baguettes doit être soudé à une petite plaque de platine, alors toute l'action électrolytique est concentrée sur l'autre pôle (voir fig. 48).

1. Voir le Mémoire de M. Grove, dans le *Philosophical Magazine* de l'année 1853.

Pour obtenir la décomposition polaire, c'est-à-dire une décomposition dans laquelle les gaz soient séparés aux deux pôles, il faut que les fils de platine des baguettes dépassent le bout des tubes de verre comme l'indique la fig. 46. En raccourcissant successivement la partie de ces fils qui dépasse, on finit par trouver la longueur d'électrode convenable pour obtenir l'effet dont nous parlons.

Fig. 45. Fig. 46.

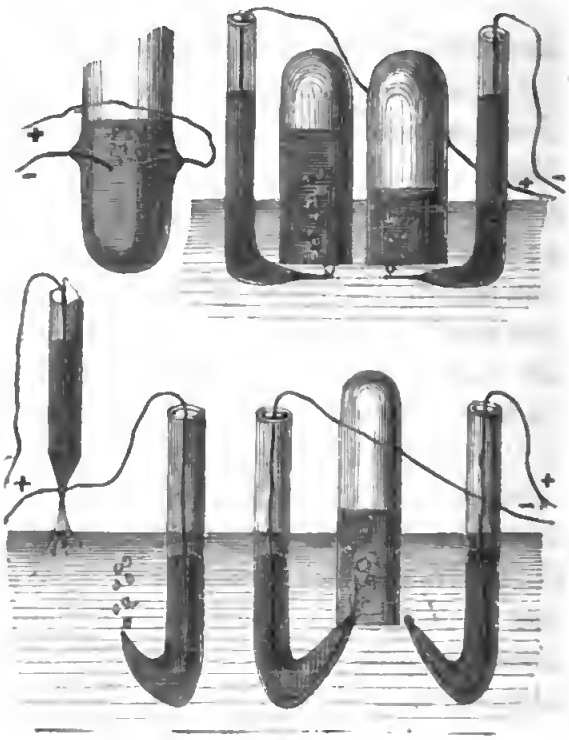


Fig. 47. Fig. 48.

Enfin, pour empêcher la décomposition électrolytique de s'accomplir, il suffit d'adapter aux deux fils des baguettes deux plaques de platine.

En résumé, il résulte de ces expériences que les courants induits peuvent donner lieu à deux effets chimiques différents, selon qu'ils passent à travers l'électrolyte à l'état de

décharge *lumineuse* ou de décharge *obscure*. Suivant M. Masson, dans ce dernier cas, la décomposition doit être électrolytique, car aucune cause n'intervient pour modifier la loi ordinaire de l'électrolysation; mais dans le premier cas le milieu à travers lequel se fait la décharge se trouvant incandescent dans le voisinage des pôles, la décomposition s'effectue brusquement et séparément dans ces endroits seulement, et les deux gaz se trouvent mélangés en se dégageant. Pour distinguer ces deux modes de décomposition, M. Masson propose de désigner le dernier sous le nom de *décomposition photo-électrique* tandis que l'autre serait appelé *décomposition polaire*.

Relativement aux proportions des deux gaz dégagés dans les décompositions photo-électriques, M. Grove est arrivé à conclure :

1° Que quand l'eau est rendue faiblement conductrice par quelques gouttes d'acide sulfurique ou de la potasse, il y a toujours un excès notable d'hydrogène;

2° Que quand l'eau est acidulée à un degré convenable pour l'action électrolytique, l'excès d'hydrogène est beaucoup moins marqué et n'existe peut-être pas pour un certain degré d'acidulation que l'on pourrait alors considérer comme le degré maximum;

3° Que quand l'acidulation dépasse ce degré maximum il y a un excès d'oxygène;

4° Que les dissolutions de sulfate de cuivre offrent aux courants d'induction une conductibilité beaucoup plus marquée que pour les courants voltaïques.

D'après M. Masson, non-seulement les liquides, mais encore les gaz eux-mêmes peuvent être facilement décomposés par l'étincelle fournie par la machine de Ruhmkorff. Dans tous les cas les produits sont toujours les mêmes avec l'étincelle ou l'aigrette, mais à l'état de *mélange*, et se dégagent aux points lumineux et incandescents.

Nous avons déjà dit que M. Grove avait étudié l'action calorifique de l'étincelle d'induction sur les plaques métalliques polies et que cette action se manifestait par la création d'anneaux colorés. Ce phénomène, beaucoup plus complexe qu'on pourrait le supposer au premier abord, a été de la part du célèbre physicien anglais, l'objet de nombreuses expériences dont voici les principales [1] :

1° Une lame de plaqué d'argent fut placée sur la platine d'une machine pneumatique, sous une cloche de verre munie à sa partie supérieure d'une boîte à cuir qui laissait passer une tige de cuivre. A l'extrémité inférieure de cette tige était fixée une aiguille d'acier; un petit flacon plein de potasse fondue servait à absorber la vapeur d'eau qui pouvait exister sous la cloche. On fit le vide dans l'appareil, on y laissa entrer une petite quantité d'eau mélangée d'air et d'hydrogène, et l'on fit communiquer l'aiguille d'acier et la plaque argentée avec les deux extrémités du fil induit. Lorsque la plaque fut positive, il s'y forma en peu d'instants une tache circulaire d'oxyde d'argent présentant successivement les teintes jaunes, orangées et bleues qu'on obtient en iodurant à divers degrés une plaque daguerrienne. Le sens du courant étant renversé, la tache disparut et la surface de l'argent redevint parfaitement nette, de manière toutefois qu'on put distinguer la place occupée par la tache. On répéta l'expérience un grand nombre de fois en faisant varier la longueur de l'espace traversé par l'étincelle d'induction et la composition du mélange gazeux; on obtint toujours les mêmes résultats, à moins qu'il n'y eût une quantité trop grande d'air dans le mélange. Dans ce cas la plaque d'argent s'oxydait quel que fût le sens de la décharge. Dans la plupart des expériences la distance de l'aiguille d'acier à la plaque fut d'environ $2^{mm},5$.

1. Voir les *Annales de Physique et de Chimie*, vol. 37.

2° Dans l'air raréfié, sans mélange d'hydrogène, l'oxydation eut lieu quel que fût le sens du courant, mais elle fut beaucoup plus rapide lorsque la plaque était positive.

3° Dans l'hydrogène pur raréfié, il ne put y avoir évidemment aucune oxydation, mais en prolongeant longtemps l'expérience on vit la surface de la plaque se dépolir légèrement. Si la plaque était primitivement oxydée, elle se désoxydait rapidement dans l'hydrogène, surtout si elle communiquait au pôle positif.

4° L'aiguille d'acier fut remplacée par des fils de cuivre, d'argent et de platine sans que les phénomènes aient paru sensiblement modifiés.

5° On introduisit dans le récipient une petite quantité d'azote pur. La plaque s'oxyda, lorsqu'elle fut positive aux dépens de l'oxygène de l'air laissé dans le récipient par la raréfaction; la plaque étant négative, la désoxydation eut lieu comme dans l'hydrogène, mais plus lentement.

6° Dans l'azote, aussi complétement privé d'oxygène qu'il fut possible, les couleurs dues à l'oxydation ne se manifestèrent pas; il se produisit seulement, sur la plaque positive, une tache noire, probablement due à la désagrégation de la surface, qui ne disparut pas lorsqu'on renversa le sens des décharges. Toutefois l'azote fit disparaître les taches d'oxyde, formées dans d'autres expériences, lorsque la plaque était négative.

7° Dans un mélange d'un volume d'oxygène et de deux volumes d'hydrogène, les effets furent les mêmes que dans un mélange d'air et d'hydrogène. La raréfaction du mélange permit d'ailleurs de faire passer une nombreuse série d'étincelles sans produire une combinaison rapide des deux gaz.

8° On obtint les mêmes résultats en augmentant la proportion d'hydrogène du mélange.

9° On substitua successivement à la plaque argentée des

plaques de bismuth, de plomb, d'étain, de zinc, de cuivre, de fer et de platine. Le bismuth se comporta comme l'argent; le plomb s'oxyda aisément, mais il fut difficile de faire disparaître la tache d'oxyde; l'étain, le zinc et le cuivre ne s'oxydèrent que lorsqu'on introduisit une grande quantité d'air, et il fut tout à fait impossible de les désoxyder; le fer s'oxyda seulement lorsque la pression de l'air fut presque égale à un atmosphère, et il ne se désoxyda pas plus que les trois métaux précédents; avec le platine on ne put observer aucune espèce d'effet.

10° On iodura la plaque d'argent et on la fit communiquer avec le pôle négatif, le récipient ne contenant que de l'hydrogène pur raréfié. L'iodure se réduisit très-promptement au-dessous de la pointe d'acier.

11° L'appareil d'induction fut remplacé par une machine électrique ordinaire. Dans un mélange d'un volume d'hydrogène et de deux volumes d'air, les phénomènes d'oxydation et de désoxydation se produisirent avec beaucoup plus de netteté, seulement les dimensions de la tache d'oxyde furent très-petites.

12° Un lavage à l'hyposulfite de soude fit disparaître la tache oxydée de la plaque d'argent comme il fait disparaître la couche iodurée des plaques daguerriennes.

13° Dans quelques expériences la tache d'oxyde semble formée de plusieurs cercles concentriques. Pour étudier spécialement cette singularité du phénomène, M. Grove fit choix d'un mélange d'un volume d'oxygène et de quatre volumes d'hydrogène. La plaque fut rendue positive, et l'on amena l'extrémité inférieure de l'aiguille d'acier à des distances de $0^m,51$, $1^m,02$, $1^m,52$, $2^m,03$, $2^m,54$. On obtint de la sorte des taches de plus en plus grandes formées : 1° d'un noyau central circulaire d'un jaune verdâtre au centre et bleu verdâtre sur les bords, lequel noyau était enveloppé par un anneau circulaire rouge cramoisi, tirant sur l'orange

vers le bord intérieur, et vers le pourpre foncé sur le bord extérieur. Entre cet anneau et le noyau central la plaque d'argent n'était pas atteinte et formait un cercle blanc; quelquefois ces taches présentaient, au milieu de leur noyau central, un petit espace circulaire où l'argent paraissait parfaitement poli. En augmentant la distance de l'aiguille à la plaque au delà des limites précédentes, la tache centrale et l'anneau extérieur s'élargissaient au point de bientôt se confondre. Lorsque la plaque était négative, il se produisait en face de la pointe une sorte d'auréole sombre et mal définie autour d'un espace circulaire central où l'argent était visible.

14° Une plaque d'argent étant placée dans l'air raréfié, on l'oxyda en deux points différents, la plaque étant successivement positive et négative. Ensuite l'air raréfié fut remplacé par un mélange d'un volume d'oxygène et de quatre volumes d'hydrogène. On rendit la plaque positive, et on amena l'aiguille d'acier successivement sur chacune des deux taches à 2/50 de pouce de distance. Il se forma immédiatement un anneau brillant, semblable à ceux observés dans les expériences précédentes. Il suit de là évidemment que ces anneaux brillants ne sont pas dus simplement à une absence d'oxydation, mais résultent d'une action particulière de la décharge.

15° En observant les anneaux avec un microscope d'un grossissement égal à 200 diamètres, on ne distingua rien de particulier.

16° Dans l'oxygène pur le protoxyde et le bioxyde d'azote, et l'acide carbonique, la plaque s'oxyda également, quel que fût le sens de la décharge. Dans l'oxyde de carbone, il y eut oxydation lorsque la plaque fut positive, et réduction lorsqu'elle fut négative. Dans le gaz oléfiant, lorsque la plaque fut négative, il se produisit une tache assez étendue montrant les anneaux colorés des lames minces, complétement

différents de ceux qui viennent d'être décrits. Au bout de quelque temps il se forma un dépôt pulvérulent qui donnait de brillantes étincelles : c'était probablement du charbon. Voici comment M. Grove a essayé de s'expliquer ces phénomènes.

« La décharge étant évidemment discontinue, dit-il, d'après la nature même de l'appareil de Ruhmkorff, avant chaque étincelle, le milieu gazeux se polarise, et cette polarité n'est pas seulement physique, comme on le croit généralement, mais encore chimique, l'oxygène acquérant une tendance à se rendre au pôle positif, et l'hydrogène une tendance contraire. Au moment qui précède immédiatement la décharge, l'électrode positive est recouverte d'une couche de molécules d'hydrogène. La décharge se produisant, les électrodes sont vivement échauffées, ou reçoivent peut-être une disposition particulièrement favorable à l'exercice de leurs affinités chimiques ; l'électrode positive s'oxyde, l'électrode négative se désoxyde, si elle est déjà oxydée. »

M. Grove propose encore deux autres théories susceptibles d'expliquer ces phénomènes, mais comme elles semblent être en contradiction avec les idées généralement admises sur l'électricité, nous n'en parlerons pas, et nous terminerons ce qui a rapport à ces curieux phénomènes par les deux expériences suivantes.

17° Le récipient a été rempli d'un volume d'oxygène et de cinq volumes d'hydrogène, sous une pression de douze millimètres. La plaque d'argent étant positive, on a obtenu, avec un fil de platine écarté de cette plaque de deux millimètres, une simple tache sombre circulaire. Avec une aiguille d'acier, on a vu se produire un triple système d'anneaux concentriques.

18° Dans une autre expérience, un fil de cuivre d'un millimètre de diamètre fut fixé avec de la cire dans une position horizontale à 1/2 millimètre au-dessus de la plaque

d'argent. L'extrémité du fil de platine fut placée à 1/2 millimètre au-dessus du fil et l'on fit passer les décharges. On obtint deux taches circulaires parfaitement séparées l'une de l'autre et accompagnées de deux demi-anneaux formant comme deux fers à cheval placés en sens inverse l'un de l'autre.

VII

APPLICATIONS DE LA MACHINE DE RUHMKORFF.

Application à l'explosion des mines. — Les nombreux accidents dont sont malheureusement si souvent accompagnées les explosions des mines quand on les fait partir par les procédés ordinaires, ont fait rechercher depuis longtemps un système d'inflammation à distance, moins dangereux et en même temps plus sûr. Ces accidents peuvent provenir de trois causes : 1° du défaut de soin des ouvriers qui, malgré les ordres qu'on leur donne, bourrent souvent les mines avec des leviers en fer; 2° de la trop prompte inflammation de la fusée qui ne leur laisse pas le temps suffisant pour s'éloigner; 3° du retard trop considérable apporté à l'inflammation de cette fusée. De ces trois causes, la dernière est celle qui amène le plus d'accidents; car, comme on fait en général partir plusieurs mines à la fois, on ne peut guère savoir à un instant donné si elles ont toutes fait explosion, et il peut arriver qu'une ou plusieurs d'entre elles se trouvent en retard. Dans ce cas, les ouvriers qui ont abandonné leur abri pour reprendre leur travail, se trouvent considérablement exposés. La solution du problème de l'inflammation des mines doit donc être telle que le moyen employé pour les faire partir à distance (500 mètres environ), n'entraîne pas avec lui une cause secondaire d'inflammation.

On a bien, à diverses reprises, cherché le moyen d'appliquer à cet usage l'action calorifique des courants électriques; car on sait qu'un fil très-fin de fer ou de platine réunissant les deux branches d'un circuit de grosse section, rougit et même se brûle sous l'influence du courant. Mais il faut, pour obtenir ce résultat, de gros conducteurs et une pile excessivement puissante; or, un pareil procédé, outre la dépense qu'il occasionnerait, serait dans la plupart des cas d'une application si difficile, surtout par l'impossibilité de ramifier le courant, qu'on serait en droit de préférer les anciens moyens, sans doute plus dangereux, mais beaucoup plus expéditifs.

Heureusement les progrès de la physique dans ces derniers temps, et l'ingénieuse machine de Ruhmkorff, ont permis de résoudre le problème à la satisfaction de tous les intérêts [1].

Nous avons d'abord parlé des avantages que présenterait un système d'inflammation à distance, au point de vue des accidents, parce que les considérations humanitaires doivent passer avant toutes les autres; mais sous le rapport des résultats matériels que l'on peut obtenir, ces avantages sont incalculables; on pourra en juger quand nous aurons exposé la manière dont les mines doivent être construites, pour qu'elles produisent le plus d'effet possible. Mais disons-le tout d'abord, l'art des mines, tel qu'il est pratiqué généralement par les ingénieurs, est dans un tel état d'enfance qu'on peut affirmer sans trop s'avancer que malgré les progrès des sciences il n'est pas plus avancé qu'il y a un siècle. A quoi faut-il attribuer ce peu de progrès dans un art qui intéresse à tant de titres non-seulement les travaux de terrassement mais encore les travaux militaires?... à plusieurs causes, d'abord au peu d'encouragement que trouvent par-

1. Voir pour l'historique de cette question mon *Exposé des Applications de l'Électricité*.

ticulièrement en France les inventeurs ; en second lieu, à l'esprit de routine qui règne dans la plupart des administrations, et qui s'oppose toujours aux innovations; en troisième lieu, à l'organisation même des services, qui fait qu'une innovation, pour être admise, est obligée de passer par une filière administrative ou des commissions dont la plupart des membres ne comprennent pas ou ont oublié ce dont il s'agit, enfin à l'amour-propre de beaucoup d'ingénieurs qui rejettent à première vue tout ce qui n'émane pas de leur confrérie. Sans doute toute invention nouvelle n'est pas bonne à être mise en essai, mais quand cette invention a été sanctionnée par l'expérience qu'a-t-on à objecter? Eh bien! quelque bonne que soit une invention, quelques avantages qu'elle fournisse, il faut en France des années avant qu'on ne l'adopte, et encore faut-il la plupart du temps qu'elle ait été sanctionnée à l'étranger. C'est ainsi que la plupart des grandes découvertes modernes, telles que l'application de la vapeur comme force motrice, la télégraphie électrique, l'éclairage au gaz, etc., bien que d'invention française n'ont été appliquées en France que quand l'Angleterre et l'Amérique leur ont accordé leur brevet de viabilité. C'est réellement honteux. Mais quittons ces diatribes pour nous occuper de la question que nous traitons.

Je disais que l'art des mines n'est pas plus avancé en ce moment en France, entre les mains des ingénieurs, qu'il y a cent ans. Je n'en veux pour exemple que les travaux exécutés jusqu'en 1854 à Cherbourg. Dans ce port, on creuse depuis quinze ans au milieu du roc vif un bassin de près d'un kilomètre de longueur sur une profondeur de vingt mètres ; et pour enlever ces masses énormes de rocher, on n'avait trouvé rien de mieux que d'employer de petites mines faites au burin, comme s'il ne s'agissait que de faire un trou dans un rocher ou de percer une galerie pour une route. Qu'en est-il résulté? qu'on a dépensé bien du temps,

bien de la poudre et bien de l'argent pour arriver à un très-mince résultat. Le gouvernement actuel, ennuyé de voir que ces travaux n'avançaient pas davantage, a voulu s'assurer si l'intérêt particulier ne ferait pas mieux que l'intérêt officiel, et a mis ces travaux en adjudication. Deux entrepreneurs qui avaient déjà fait leurs preuves à Marseille et à Alger, MM. Dussaud et Rabattu, se sont chargés de l'entreprise, et, nous devons le dire, ils ont réussi au delà de toute espérance. Ainsi s'est confirmée la prévision du gouvernement.

Pour obtenir les brillants résultats auxquels ils sont arrivés, MM. Dussaud et Rabattu ont dû abandonner complétement le système de mines employé jusque-là par les ingénieurs; car ils avaient pensé avec raison que ce n'étaient pas de petites mines, contenant un ou deux kilogrammes de poudre, qui parviendraient à ébranler suffisamment le rocher pour le rendre exploitable, mais bien des *mines monstres*, contenant plusieurs milliers de poudre, et enflammées au même moment.

Une *mine monstre*, telle que celles que ces messieurs avaient déjà employées à Alger, se compose ordinairement de deux chambres carrées de la contenance de 3 ou 4 mètres cubes, creusées à environ 12 mètres au-dessous de la surface du rocher, et que l'on remplit de poudre. Pour opérer ce creusement, MM. Dussaud et Rabattu ouvrent d'abord un puits AB (fig. 49), de 12 mètres de profondeur, puis ils font partir du fond de ce puits deux galeries horizontales BC, BD, d'environ 1^{m} 50 de hauteur, sur 5^{m} de longueur, et c'est à l'extrémité de ces galeries qu'ils creusent les chambres dont il a été question. La poudre n'est pas déversée directement dans ces chambres; car, dans le long travail du bourrage de ces mines, elle pourrait devenir humide et rester sans effet. C'est dans de grands sacs en gutta-percha, hermétiquement fermés, qu'elle est

déposée avec la fusée d'explosion. Quand ce travail est fait, que les fusées sont attachées aux saucissons, on maçonne

Fig. 50. Fig. 51. Fig. 49.

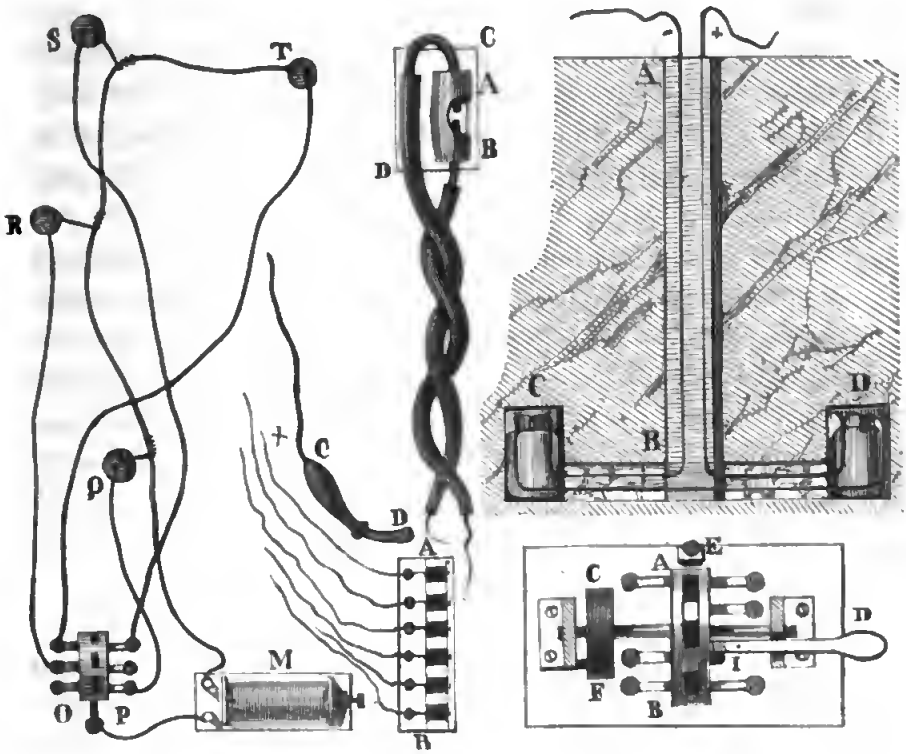


Fig. 53. Fig. 52.

solidement à pierre et à plâtre les galeries, et on remplit de terre le puits de descente : en sorte que les mines ne sont plus en rapport avec l'extérieur que par les saucissons remplis de poudre, qui ont été eux-mêmes noyés dans la maçonnerie. Ces saucissons communiquent à la surface du sol avec des traînées de poudre qui partent des différentes mines et aboutissent à un centre commun, où se trouve une mèche d'amadou. C'est en allumant cette mèche qu'on met le feu à ces mines.

Ce système, bien que très-ingénieusement combiné,

puisque la poussée de la poudre ne pouvait s'opérer qu'en soulevant la masse de rocher au-dessus de chaque mine, n'a pas donné dans l'origine des résultats aussi satisfaisants qu'on était en droit de l'espérer, précisément à cause du mode d'inflammation de la mine. On sait, en effet, d'après les expériences du général Morin, expériences d'ailleurs connues de beaucoup de chasseurs, que, dans un tube rempli de poudre et faiblement bourré, toute la poudre ne brûle pas; de sorte qu'il peut arriver que la poudre, enflammée à la partie supérieure du tube, ne transmette pas l'inflammation à la partie inférieure. Or, c'est précisément ce qui arrivait souvent dans les saucissons de 12 mètres employés pour mettre le feu aux mines monstres de MM. Dussaud et Rabattu. D'un autre côté, la poudre ne prenant pas feu avec une égale promptitude, les différentes mines qui auraient dû s'enflammer en même temps ne partaient jamais régulièrement, et dès lors tout l'effet avantageux de ces espèces de volcans, dont les ébranlements individuels se fussent prêtés un mutuel secours, était plus que problématique.

En se reportant aux articles que j'avais publiés depuis plusieurs années, dans les journaux de la localité, sur l'importance de l'emploi de l'électricité pour l'inflammation des mines, MM. Dussaud et Rabattu virent immédiatement que toute la réussite de leur système d'exploitation par grandes mines dépendait complétement de l'application des moyens électriques, et vinrent me prier de leur organiser un système d'explosion électrique facile de manipulation, et surtout dont les effets fussent immanquables. Pour peu qu'on réfléchisse que ces mines, qu'on fait généralement partir au nombre de six ou huit à la fois, reviennent à près de 15,000 francs; que de leur bonne ou mauvaise réussite peut résulter la perte de cette somme, ou un bénéfice considérable, on pourra comprendre que la question écono-

mique n'était que secondaire pour eux. Je m'empressai de satisfaire à leur demande, et nous pûmes faire les premiers essais le 1er septembre de l'année dernière. Les résultats en ont été merveilleux, et ont dépassé tout ce que l'on pouvait attendre. Plus de 50,000 mètres cubes de rochers ont été détachés d'un seul coup, et les six mines employées à cet effet n'ont fourni qu'une seule détonation.

Pour les mines monstres, l'emploi de l'électricité comme moyen d'inflammation présente donc à la fois : *sécurité* pour les ouvriers, *sûreté* pour l'opération, *augmentation* de force ou d'effet mécanique de la part de la poudre (dû à la simultanéité d'explosion), que MM. Dussaud et Rabattu ont estimé à 1/6, *économie* de 60 pour 100 dans le procédé d'inflammation lui-même.

Pour les petites mines, les avantages du système électrique sont moins certains; surtout quand elles sont assez éloignées les unes des autres pour que l'instantanéité de l'explosion ne leur soit pas profitable. Les fusées d'explosion reviennent en effet à 50 centimes, et sont, par conséquent, beaucoup plus chères que les fusées ordinaires. De plus, les fils conducteurs peuvent être facilement détériorés par les éclats de pierre, qui sont plus nombreux avec ces sortes de mines qu'avec les grandes. On ne peut donc, dans ce cas, invoquer l'importance du procédé électrique que sous le rapport de la sécurité des ouvriers. Mais cette considération doit être suffisante pour qu'on renonce définitivement aux anciens procédés.

Après avoir ainsi démontré l'importance de l'emploi des moyens électriques pour l'inflammation des mines, il nous reste à faire connaître quels sont ces moyens.

Depuis longtemps, les effets de l'inflammation de la poudre par l'étincelle électrique sont connus, et, au premier abord, rien ne semble plus facile que d'obtenir l'explosion des fusées de mines, à l'aide de l'appareil de Ruhm-

korff, qui a, sur les machines électriques, les immenses avantages de fournir des étincelles par tous les temps, qu'il fasse sec ou qu'il fasse humide, et d'exercer, comme nous l'avons vu, ses effets à de grandes distances. Pourtant, le problème est infiniment plus complexe, et, pour le résoudre d'une manière applicable dans la pratique, bien des essais ont dû être tentés.

Un des obstacles qui se sont d'abord présentés, a été l'inertie calorifique de l'étincelle d'induction échangée à travers des corps mauvais conducteurs, inertie qui fait que l'on peut obtenir des étincelles d'induction à travers la poudre, sans que celle-ci s'enflamme, si on interpose dans le circuit une certaine résistance, par exemple si on rend l'étincelle la plus longue possible. Il arrivait donc, dans l'application, que, pour une certaine longueur du circuit, l'étincelle, bien qu'étant très-courte, ne faisait pas partir la mine, parce que la longueur du circuit représentait une résistance trop forte. On a donc dû chercher un moyen secondaire qui pût faciliter l'action calorifique, et le hasard en cela, il faut le dire, est venu au-devant de la théorie, en mettant entre les mains de M. Ruhmkorff les fusées de Stateham, dont on ne s'expliquait pas encore l'action.

La découverte de ces fusées est elle-même due à une circonstance accidentelle, qui s'est présentée dans les expériences faites à Londres, lors de l'essai du télégraphe sous-marin de Douvres à Calais.

Pour ces expériences, le câble sous-marin avait été mis à l'épreuve à une profondeur considérable dans l'eau. Quand on fit l'essai des fils, le constructeur, M. Stateham, amené à un examen minutieux de tout le câble par une solution de continuité, qu'il avait constatée dans l'un des fils, aperçut, à son grand étonnement, des étincelles passer au travers de l'enveloppe de gutta-percha, et se suc-

céder avec une grande rapidité. Ce phénomène était un fait nouveau pour la science; car, jusque-là, on n'avait pas eu d'exemple d'étincelles échangées à distance, ou du moins sans friction de la part d'un conducteur du courant voltaïque. Après avoir examiné avec soin les diverses circonstances dans lesquelles le phénomène s'était produit, il crut reconnaître que c'était à la légère empreinte du fil de cuivre sur la gutta-percha vulcanisée (*soufrée*), empreinte constituée par une couche de sulfure de cuivre, que le courant électrique devait en grande partie son effet statique, car les étincelles suivaient toujours cette empreinte. Il conçut dès lors l'idée de construire sur ce principe des fusées pour les mines.

Il ne put cependant atteindre complétement ce but, car l'un des éléments essentiels à la production des étincelles qu'il avait observées n'avait pas encore été découvert. Il était réservé à Faraday d'expliquer, quelques années plus tard, le phénomène [1].

Bien que le système d'inflammation électrique de M. Stateham n'ait pas eu beaucoup d'applications, ses fusées tombées entre les mains de M. Ruhmkorff produisirent l'effet que ce physicien en attendait pour le courant de son appareil; et par cet intermédiaire il put provoquer l'inflammation de la poudre dans toutes les conditions possibles.

Les fusées de Stateham sont très-faciles à faire pour tout le monde : on prend deux bouts de fil de cuivre rouge recouverts de gutta-percha ordinaire; on dégarnit de gutta-

1. Ce phénomène comme nous l'avons dit page 12, doit être attribué à une *réaction statique*, échangée entre l'électricité du courant et l'électricité, décomposée par induction latérale, du conducteur liquide dans lequel était plongé le câble. Je dois faire observer que dès l'année 1852, j'avais présenté un mémoire à l'Institut, sur ces sortes de *réactions* par lesquelles j'avais expliqué la production des courants d'induction dans la machine de MM. Breton frères.

percha leurs extrémités; on les entortille, comme on le voit fig. 51, et on recourbe les bouts des fils métalliques, de manière à entrer dans une enveloppe A B de gutta-percha vulcanisée, que l'on a coupée et enlevée de dessus un fil de cuivre qui en avait été depuis longtemps recouvert. On pratique sur cette enveloppe une échancrure A B, et après avoir maintenu à deux ou trois millimètres l'une de l'autre les extrémités des fils de cuivre, on en recouvre les pointes de fulminate de mercure, afin de rendre l'inflammation de la poudre plus aisée. On remplit l'échancrure de poudre et on enveloppe le tout avec un bout de tuyau de caoutchouc C D, ou dans une cartouche remplie de poudre.

Le rôle de la gutta-percha vulcanisée, dans la facilité qu'elle donne à l'électricité de produire des effets calorifiques, peut trouver son explication dans les expériences sur les étincelles d'induction échangées au travers des corps de conductibilité secondaire, dont nous avons parlé dans le chapitre IV, et desquelles il résulte qu'un corps de conductibilité secondaire interposé entre les électricités développées des deux côtés d'une solution de continuité dans un courant d'induction, facilite la décharge, et par cela même entre facilement en ignition. Dans les fusées Stateham, c'est le sulfure de cuivre qui est précisément ce conducteur secondaire.

Quand on a prépare une fusée comme nous l'avons expliqué plus haut, il ne faut pas oublier de l'essayer et de régler en conséquence l'étendue de la solution de continuité. Il peut se faire en effet que tout en appartenant à la même enveloppe d'un fil de cuivre, la gaîne de gutta-percha vulcanisée, dont on munit la fusée, soit plus ou moins imprégnée de sulfure de cuivre; or, si le sulfure de cuivre est en trop grande quantité, il devient trop bon conducteur et empêche l'étincelle de se produire. Si, au contraire, il n'est pas en assez grande quantité, il ne facilite pas suffisamment

la décharge. Il est facile, du reste, de voir quand l'étincelle atteint son maximum d'intensité.

Les premiers essais en grand de l'application de l'appareil d'induction de Ruhmkorff aux mines, ont été faits en 1853 par le colonel espagnol Verdu, dans les ateliers de M. Herkman, fabricant de fil recouvert de gutta-percha, à la Villette, près Paris. On a expérimenté successivement, sur une longueur de fil de 400 mètres, de 600, 1,000, 4,800, 5,000, 6,400, 7,600, 25,000, 26,000, et le succès a toujours été complet, soit avec un circuit composé de deux fils, soit en faisant entrer la terre dans le circuit. L'on n'avait employé, pour cela, que deux éléments de Bunsen (moyen modèle).

Ces expériences furent suivies de plusieurs autres, ayant pour but de remplacer la pile par la machine de Clarke, tout en conservant l'appareil inducteur de Ruhmkorff. Elles ont toutes également réussi à des distances de 440, 1,000, 1,800, 5,600 mètres. On ne put expérimenter au delà, mais tout porte à croire que l'expérience aurait pu réussir à une distance beaucoup plus grande. Ainsi les courants d'induction de la machine de Clarke peuvent, dans cette application, remplacer les courants voltaïques, et c'est un grand avantage dans un grand nombre de cas.

Depuis ces expériences, qui semblaient faire entrevoir dans un avenir prochain la solution complète du problème de l'explosion des mines, physiciens, officiers du génie et constructeurs se sont mis à l'œuvre pour le perfectionnement du procédé, et il est résulté de tous leurs travaux un ensemble de systèmes qui fournit, dès aujourd'hui, les moyens d'appliquer l'électricité aux mines dans les différents cas qui peuvent se présenter.

Système de M. Savare. — Dans leurs premières expériences, MM. Ruhmkorff et Verdu avaient cherché à obtenir l'inflammation simultanée de plusieurs fusées en les interposant sur le même circuit; ils pensaient avec raison, sans

doute, que, puisque l'étincelle électrique, en parcourant le carreau étincelant ne se trouvait pas arrêtée, bien qu'elle eût à traverser plusieurs centaines de solutions de continuité, il devait en être de même de l'étincelle d'induction; mais, chose curieuse! cette étincelle, dont les effets physiologiques sont plus énergiques que ceux de la machine électrique, dont la tension est si considérable qu'on peut les faire jaillir à travers la gomme laque, la faïence, le verre même, dont la puissance physique est si énergique à petite distance; cette étincelle, dis-je, se trouve à tel point affaiblie par les solutions de continuité successives, que le carreau magique de la plus petite dimension ne peut être entièrement traversé par elle. C'est tout au plus si les petites étincelles auxquelles elle donne naissance apparaissent quand elles sont au nombre de 120 à 150. Aussi n'a-t-on jamais pu réussir à faire partir avec ce système plus de quatre mines à la fois.

Reconnaissant cette mauvaise condition des courants d'induction, M. Savare, capitaine du génie français, a cherché à concentrer l'action du courant au lieu de la diviser, et pour cela, il a rendu impossible sa transmission par les fusées, une fois celles-ci parties. Pour arriver à ce résultat, M. Savare établit toutes ses fusées sur des dérivations d'un circuit principal et les construit de manière que les bouts du fil constituant la solution de continuité soient terminés par des pointes effilées d'alliage fusible (le métal Darcet amalgamé). Pour rendre l'inflammation plus facile, il remplace la poudre par du pyroxyle enveloppé lui-même dans une étoffe rendue inflammable, et emploie comme conducteur secondaire du sulfure noir de mercure ou du deuto-sulfure d'étain. On comprend dès lors ce qui arrive : celle des mines qui est la plus rapprochée de l'appareil, ou dont la fusée présente le moins de résistance à la transmission du courant, part de préférence aux autres; mais dans cette

inflammation, le métal Darcet se trouve fondu, et si la fusée est restée dans la mine, les deux extrémités du fil sont alors trop éloignées l'une de l'autre pour que le courant passe au travers; c'est donc une issue de moins au courant, et, par conséquent, un renfoncement d'action électrique pour les autres mines.

Dans la pratique on peut n'employer qu'un seul conducteur, laissant au sol le soin d'achever le circuit. On fait donc partir d'un des pôles de la machine de Ruhmkorff un fil soigneusement recouvert de gutta-percha qui circonscrit les différentes mines et sur lequel on greffe les bifurcations qui doivent aller à ces mines. Ces bifurcations sont attachées à l'un des bouts des fusées, tandis que l'autre bout de celles-ci communique au sol, par l'intermédiaire d'un fil quelconque, attaché à une plaque métallique. Un pareil fil également en rapport avec la terre, part du second pôle de l'appareil de Ruhmkorff et complète le circuit.

Afin d'éviter la transmission à travers le sol une fois que les fusées ont fait explosion, M. Savare introduit la pointe de métal fusible et une portion du conducteur dérivé dans un tuyau de gutta-percha qu'il soude sur ce conducteur de manière à ce que la solution de continuité et les extrémités du fil métallique fusible, longues d'environ un centimètre, soient dans le vide. Puis il remplit cet espace vide avec du pulvérin délayé dans de l'eau gommée. Il en résulte qu'au moment de l'explosion, le métal fond jusqu'à un centimètre de profondeur dans la gutta-percha, et que la communication du conducteur dérivé avec le sol devient impossible. Avec des fusées préparées de cette manière on peut faire sauter autant de fourneaux de mine que l'on veut. Le métal fusible en s'échauffant et en fondant suffirait presque pour enflammer la poudre. La préparation est d'ailleurs facile. On achète le métal Darcet tout fait, on le fond dans

un creuset, on y mêle une certaine quantité de mercure, et pour l'obtenir en fil on aspire le métal fondu dans de petits tubes en verre. Quand il est refroidi on le retire des tubes, on le soude aux conducteurs en cuivre et l'on effile les pointes à la lime. La proportion de mercure ne doit pas être grande, car alors le métal serait trop cassant.

Avec ce système, M. Savare a pu enflammer jusqu'à dix mines à la fois, à 700 mètres de distance.

Sy tème de M. Verdu. — Depuis ses premières expériences avec M. Ruhmkorff, M. Verdu s'est livré à de nouveaux essais en Espagne, et il s'est assuré que de toutes les substances explosibles, telles que la poudre blanche, la poudre de chasse, le fulmi-coton, le mélange de soufre et de chlorate de potasse qu'on pouvait introduire dans les fusées, aucune n'était à beaucoup près aussi sensible que le fulminate de mercure. C'est donc aux fusées Stateham chargées avec du fulminate de mercure qu'il a eu recours pour ses expériences au polygone du génie de Guadalaxara, faites à une distance de 3,000 mètres avec un seul conducteur isolé et *tendu en ligne droite.*

Avec un seul élément de Bunsen, M. Verdu est parvenu à produire l'explosion simultanée de six fourneaux de mine interposés dans le même circuit à 300 mètres de l'appareil; il n'a pas été au delà de cette limite, mais il a cherché le moyen d'agir indirectement sur un plus grand nombre de mines en les distribuant par groupes de cinq et en interposant chacun de ces groupes dans un circuit particulier [1]. Voici comment on opère dans ces deux cas : supposons vingt fourneaux divisés comme nous venons de le dire, en groupes de cinq, séparés les uns des autres par une distance aussi

1. J'avais proposé ce système avant M. Verdu et je l'avais combiné de manière à n'employer qu'un seul fil recouvert de gutta-percha pour franchir la plus grande distance, c'est-à-dire, celle de l'appareil aux mines. (Voir mon *Traité des Applications de l'Électricité*, IIe vol., p. 124.)

grande qu'on le voudra. On fait communiquer les cinq fusées de chaque groupe par un seul fil dont l'une des extrémités s'enfonce dans le sol et dont l'autre est près de l'appareil. En touchant successivement le pôle du courant induit avec chacun des quatre bouts libres que l'on tient ensemble à la main, ce qui exige à peine une seconde de temps, on obtient vingt explosions simultanées à des distances considérables, par exemple à 500 mètres. M. Verdu n'a, du reste, trouvé jusqu'à présent aucune limite à la distance à laquelle l'explosion peut avoir lieu, ni au nombre de fourneaux. Ainsi, dans une expérience à une distance de 3,500 mètres, l'explosion simultanée des fourneaux a été telle qu'il n'a pu percevoir que le bruit d'une détonation unique.

L'inconvénient immense de l'emploi du fulminate de mercure dans la pyrotechnie est précisément sa facilité d'explosion par le choc; il était donc à craindre que dans le bourrage des mines, le choc produit n'entraînât l'explosion de la fusée et partant celle de la mine. Mais M. Verdu s'est assuré que ces inconvénients n'existaient pas dans le cas en question, si l'on avait soin d'introduire l'extrémité des fusées dans un petit tube de gutta-percha fermé par le bout. Après avoir rempli de poudre cette espèce de petite boîte et l'avoir fermée hermétiquement, on peut transporter les fusées, les manier, les laisser tomber, les choquer même assez fortement, sans danger. La nature un peu élastique et corroyée de la gutta-percha qu'on a eu soin de ramollir un peu au feu préserve le fulminate de toute chance d'accident.

Système de M. Th. du Moncel. — Comme nous l'avons déjà dit, le problème à résoudre, pour l'explosion des mines monstres par l'électricité, était moins de rechercher l'économie dans les organes électriques destinés à agir, que de fournir un système immanquable dans ses effets. Or, les

systèmes précédents, bien que très-ingénieux, ne me paraissaient pas donner une garantie suffisante, eu égard à l'importance des résultats négatifs ou positifs qui pouvaient être la conséquence de la mauvaise ou bonne réussite de ces mines. Au lieu donc de faire partir les six ou huit mines qui composent ordinairement chaque système de ces mines monstres, j'ai mieux aimé les diviser par groupes de deux, et avoir recours à trois ou quatre circuits. Bien plus même, craignant, en raison du contact si intime des fils avec la terre et le plâtre, dans les galeries et le puits de descente, un isolement insuffisant du courant, j'ai supprimé la communication par le sol, et j'ai préféré employer deux conducteurs au lieu d'un, ce qui d'ailleurs ne m'occasionnait qu'une dépense très-minime, puisque l'un de ces fils pouvait être commun à tous les circuits en rapport avec les trois ou quatre grandes mines qui devaient partir en même temps.

Avec cette disposition, commandée par la prudence, le problème se réduisait pour moi à obtenir la simultanéité d'explosion à travers ces différents circuits; J'ai eu pour cela recours à un commutateur à rotation (fig. 52), consistant principalement dans une roue épaisse de gutta-percha AB, mise en mouvement par un ressort de pendule CF, et dont la circonférence portait cinq plaques métalliques séparées les unes des autres par un intervalle de 2 centimètres environ. Sur cette circonférence appuyait un frotteur E, qui, par l'intermédiaire d'un bouton d'attache et d'un fil, était mis en rapport avec celui des pôles de l'appareil de Ruhmkorff qui fournit l'étincelle à distance. Les plaques elles-mêmes communiquaient, par l'intermédiaire de lames métalliques appliquées sur les deux surfaces planes de la roue, à cinq ressorts frotteurs mis en relation par des boutons d'attache avec les cinq fils des circuits. Enfin, une détente à encliquetage ID destinée à brider le ressort quand il était tendu, permettait, à un instant donné, de dégager

le mouvement de la roue. Le jeu de cet appareil est facile à concevoir : quand la roue entrait en mouvement, elle présentait successivement au frotteur commutateur E les différentes plaques de sa circonférence, mais, comme celles-ci, par leurs relations avec les autres frotteurs se trouvaient mises en communication avec les différents circuits, le courant était renvoyé successivement d'un circuit dans l'autre dans un temps inappréciable.

Le problème aurait pu être résolu plus simplement au moyen d'un commutateur à simple frottement, qui aurait consisté dans une bande de gutta-percha AB (fig. 53), armée de cinq ou six plaques métalliques en rapport avec les circuits et sur laquelle on aurait frotté vivement une lame de ressort CD communiquant par un fil avec l'appareil de Ruhmkorff; mais avec ce commutateur la simultanéité d'action du courant aurait dépendu de l'adresse de celui qui aurait manœuvré le ressort. D'un autre côté, dans le cas où l'action électrique n'aurait pas été suffisante pour faire partir les mines établies dans l'un des circuits, il aurait été nécessaire de recommencer la manœuvre du frotteur commutateur. Or, ce soin aurait pu être négligé ou, tout au moins, retardé; tandis qu'avec le commutateur à rotation la roue effectue un assez grand nombre de tours sur elle-même pour qu'on soit assuré que, si dans un premier tour l'un des circuits a fait défaut, il ne le fera pas dans un second tour ou dans un troisième, puisque le mouvement de la roue diminue progressivement. D'ailleurs, un commutateur mécanique a sa marche calculée et invariable; on a pu l'expérimenter préalablement et l'on n'a pas à craindre, en l'employant, d'agir ou trop lentement ou avec trop de promptitude.

Il va sans dire que dans le cas où on emploierait le commutateur à frottement, il faudrait que le ressort commutateur fût adapté à un manche de verre ou de gutta-percha.

La disposition des fils et des appareils est indiquée dans la fig. 50. M représente l'appareil de Ruhmkorff placé à

Fig. 50. Fig. 51. Fig. 49.

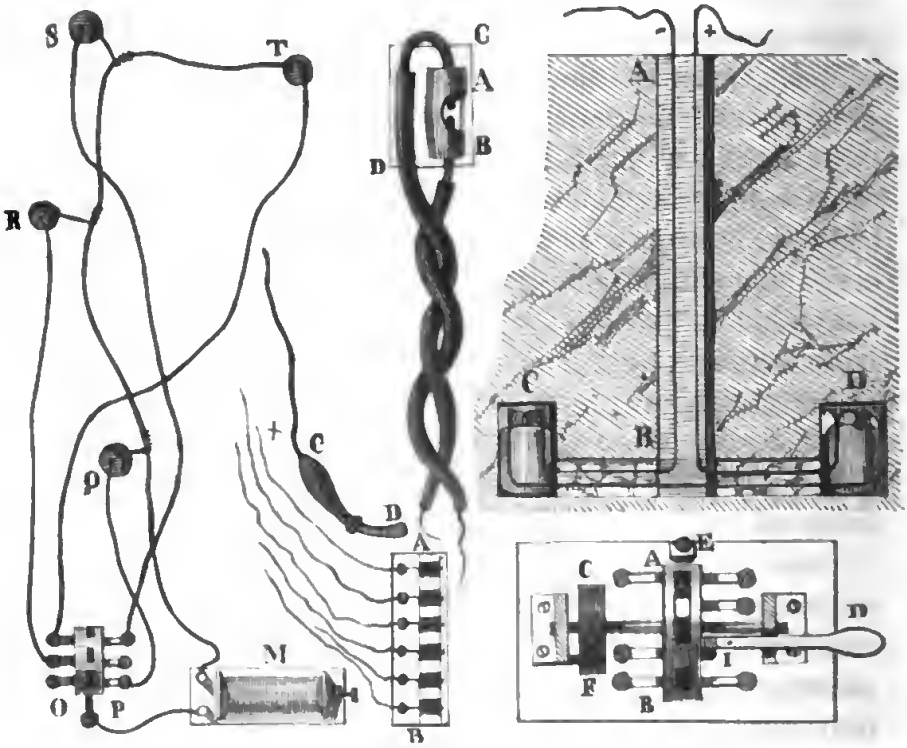


Fig. 53. Fig. 52.

4 ou 500 mètres des mines; OP est le commutateur à rotation placé tout près de l'appareil d'induction, et les puits de descente des mines sont figurés en Q, R, S et T. Le pôle extérieur du courant communique au ressort E (fig. 52) du commutateur, et le pôle intérieur, celui qui ne fournit pas d'étincelle à distance avec un conducteur isolé du circuit, est en rapport avec un long fil recouvert de gutta-percha vulcanisée qui circonscrit les différentes mines. Sur ce fil on pratique des dérivations qui vont rejoindre l'un des deux

fils, + et — (fig. 49), ressortant de chaque mine; l'autre fil de ces mines, le fil + par exemple, est relié séparément à un fil particulier, également recouvert de gutta-percha vulcanisée, qui va s'attacher à l'un des ressorts frotteurs du commutateur; il va sans dire qu'il y a autant de ces fils particuliers qu'il y a de mines. Telle est l'organisation du système d'explosion quant à sa liaison avec les appareils. La disposition des fils, à l'intérieur des mines, est indiquée fig. 49. Ces fils, en raison de leur peu de longueur, peuvent être choisis, par économie, d'un diamètre beaucoup plus petit, car ils ne peuvent pas resservir; ils disparaissent même entièrement pendant le travail de l'explosion. Deux de ces fils, + et —, après être descendus d'abord verticalement dans le puits de descente, se recourbent brusquement pour passer par les galeries horizontales et viennent s'attacher à l'un des bouts des deux fusées d'explosion C et D; les autres bouts de ces fusées sont ensuite reliés directement par un troisième fil.

Dans l'organisation de ces différents fils il faut avoir soin de recouvrir tous les points de jonction d'une épaisse couche de gutta-percha ou, à défaut de gutta-percha, de plusieurs doubles de taffetas gommé. Il convient même, pour plus de sûreté, de soutenir extérieurement ces points de jonction au-dessus du sol à l'aide de petites fourchettes de bois.

L'effet d'explosion de ces mines *monstres* est tout à fait différent de celui des petites mines. Peu de fragments de pierres sont projetés en l'air, mais on voit le terrain se soulever comme une enveloppe qui se gonfle. Quand ce soulèvement a atteint de un à deux mètres, des déchirures se forment de tous côtés, et la fumée, quelques instants comprimée, en s'échappant à travers ces fissures, donne à ces mines l'apparence d'un cratère de volcan en éruption. La détonation n'est pas extrêmement forte, c'est un bruit

sourd, qui semble venir de loin, et à la suite duquel se produit un petit tremblement de terre qui, du reste, ne se propage pas assez loin pour endommager les bâtiments dans le voisinage.

L'explosion de ces mines est du reste un spectacle curieux qui attire toujours, dans le port militaire de Cherbourg, un grand nombre de spectateurs. Ordinairement les entrepreneurs chargés de ces travaux en font partir tous les trois mois.

Il serait bien long d'énumérer la foule d'applications que l'on peut faire de cette propriété inflammable des courants d'induction, car l'explosion des mines n'est qu'une bien petite face de la question. Son emploi dans l'artillerie, soit pour la décharge instantanée d'une batterie, composée de pusieurs pièces d'artillerie, soit pour l'explosion des brûlots, soit pour la démolition des navires sous l'eau, ou pour les mines sous-marines, serait un progrès immense réalisé dans l'intérêt de la défense et de la sécurité des hommes préposés à ces différentes manœuvres.

Dans l'artillerie ordinaire, même, ce procédé pourrait être utilement employé. En effet, la lumière par laquelle s'opère la transmission du feu dans les canons, est une cause perpétuelle d'accidents pour les chargeurs de pièces, car l'air qui entre par cette lumière, peut entretenir incandescentes les flamèches restées au fond du canon. Avec le procédé électrique, la lumière peut être supprimée, car on la remplace par une fusée qui peut facilement être disposée de manière à rester fixe et à servir toujours.

Enfin, pour les feux d'artifice, les travaux de siége qui demandent la simultanéité dans les explosions, aucun moyen ne pourrait remplacer l'effet électrique. Espérons donc que l'artillerie française qui, jusqu'à présent, a toujours été la première de l'Europe, ne se laissera pas devancer par les autres nations, et qu'elle sera la première à faire des ex-

périences qui, jusqu'à présent, sont restées seulement dans le domaine de la science.

Application de l'appareil de Ruhmkorff à la médecine.— Tout le monde connaît les merveilleux effets que peut produire, dans certaines maladies, particulièrement dans les paralysies, le traitement par l'électricité; depuis quelques années surtout, ce traitement est devenu une des branches les plus importantes de la thérapeutique. Mais, ce que l'on sait moins, c'est que les effets électro-médicaux dus à l'électricité dynamique sont bien différents de ceux qu'exerce l'électricité statique, et qu'ils peuvent être employés indépendamment l'un de l'autre suivant les cas. MM. Trousseau et Pidoux prétendent, par exemple, que les chocs électriques doivent être préférés pour donner de fortes excitations aux muscles de la vie de relation, tandis que le galvanisme doit être réservé pour les muscles de la vie organique et pour les organes d'une texture délicate. D'autres médecins vont encore plus loin et attribuent aux deux genres de manifestation électrique une vertu particulière et indépendante de leur différence de tension. Quoi qu'il en soit, les courants d'induction de la machine de Ruhmkorff, en raison de leur nature semi-statique, semi-dynamique, peuvent être d'un secours d'autant plus précieux, au point de vue médical, que l'énergie des commotions n'a pas de limite. Nous avons vu en effet comment, avec les condensateurs, on pouvait augmenter presque indéfiniment la force de ces courants, et comment, en prenant des dérivations convenables, on pouvait les affaiblir. D'un autre côté des étincelles, et même des aigrettes de feu, peuvent être provoquées de la part de ces courants, de sorte qu'un appareil de Ruhmkorff tient lieu, pour un médecin, d'une machine électrique, d'une pile voltaïque et d'un appareil électro-médical.

Différents modes d'électrisation. — Électrisation par étin-

celles. — Les étincelles d'induction sont beaucoup plus énergiques que les étincelles des machines; et comme elles pourraient être quelquefois dangereuses, si elles n'étaient gràduées, M. Ruhmkorff et moi avons eu l'idée d'interposer dans le circuit un tube rempli d'un liquide assez mauvais conducteur, tel que l'alcool, et de régler la résistance du circuit par deux baguettes de Wollaston montées sur des tiges à vis aux deux extrémités du tube. En rapprochant ou en éloignant ces baguettes, par l'intermédiaire de ces vis, on diminue ou on augmente la résistance du circuit, et partant, l'étincelle diminue ou augmente d'intensité.

Pour appliquer convenablement l'étincelle, on fait tenir au malade l'extrémité du rhéophore en rapport avec le pôle intérieur du circuit, et le médecin excite l'étincelle avec l'autre rhéophore à travers lequel il a introduit le régulateur.

On peut, sans régulateur, obtenir des étincelles assez faibles en les provoquant seulement de la part du pôle extérieur du circuit induit. Il suffit alors au médecin d'attacher à ce pôle un des rhéophores et d'en porter la pointe à un ou deux millimètres de la partie du corps que l'on veut électriser, sans que le malade soit en rapport avec l'autre pôle du circuit.

Électrisation par simple courant. — Cette manière d'électriser est celle qui nécessite le plus la graduation de la force du courant. On peut obtenir cette graduation au moyen du graduateur que nous avons décrit précédemment ou du système dont nous avons parlé page 95; mais en employant des rhéophores de différente nature, on peut obtenir déjà des affaiblissements ou des renforcements d'action électrique très-caractérisés. Ainsi, en prenant pour rhéophores des fils très-fins et n'appliquant sur la partie malade que leur extrémité, les commotions sont infiniment moins énergiques qu'avec des plaques ou des éponges imbibées d'eau ;

mais, à cause de l'effet calorifique qui peut se manifester au point de contact, il vaudrait mieux employer dans ce cas, pour rhéophores, de petits tubes à bout effilé et remplis d'eau. Inutile de dire que les rhéophores, soit plaques, soit pointes, soit brosses ou éponges, doivent être appliquées de manière à ce que le courant traverse la partie malade.

Électrisation par courants condensés. — Ce moyen ne peut guère être employé que dans les cas ou tous les autres moyens d'électrisation ont échoué, par exemple, dans les asphyxies et les paralysies rebelles; dans ce cas deux rhéophores supplémentaires sont mis en rapport avec les deux armures d'une bouteille de Leyde ou d'une batterie de Leyde, suivant la force de la pile, et l'on se sert des deux autres pour électriser.

Électrisation par courants alternativement renversés. — En interposant sur la partie malade une ou plusieurs lames de verre qui peuvent servir alors de graduateur, on peut, comme nous l'avons vu par nos expériences sur la transmission des courants induits à travers les corps isolants, faire retourner le courant sur lui-même aussitôt après qu'il a pris naissance. Ce mode d'électrisation n'a pas encore été essayé, mais je crois qu'il doit fournir des résultats particuliers et avantageux dans certaines maladies. Pour l'appliquer il suffit de faire tenir au malade le pôle *intérieur* du circuit et de faire circuler le courant de manière à ce que ce pôle soit négatif; alors le médecin, avec l'autre pôle, excite des étincelles de la part des lames de verre placées sur la partie malade, ou bien il applique simplement sur le verre le rhéophore positif auquel il a attaché une lame métallique, ou une éponge imbibée d'eau, pour rendre l'action plus énergique. Plus les lames de verre, empilées les unes sur les autres, sont en grand nombre, moins l'effet électrique est énergique.

Électrisation par l'extra-courant. — On peut obtenir des contractions musculaires très-énergiques sans être trop douloureuses, en faisant circuler dans le fil fin de l'appareil de Ruhmkorff le courant d'une pile de Daniell de huit petits éléments disposés en tension. La réaction physiologique ne provient alors que de l'extra-courant, c'est-à-dire de la réaction du courant voltaïque sur lui-même; mais, à cause du parfait isolement du fil, elle ne laisse pas que d'avoir une certaine force.

Pour opérer ce genre d'électrisation, on attache à l'un des pôles de l'appareil de Ruhmkorff un des rhéophores de la pile, on fixe à l'autre pôle de l'appareil d'induction un fil terminé par l'excitateur (plaque, éponge, etc.) que l'on a jugé convenable, et l'autre pôle de la pile communique avec un pareil excitateur. On applique ces deux excitateurs sur la partie désignée du corps du malade et, avec deux bouts de fils métalliques isolés qui sont attachés aux excitateurs eux-mêmes, on opère à la main les interruptions nécessaires pour la production du courant induit.

Autres applications de l'appareil de Ruhmkorff. — Comme on le comprend aisément, tout système dans lequel une inflammation ou une commotion quelconque doit être produite à distance, soit comme signal, soit comme résultat spéculatif, peut trouver, dans l'appareil de Ruhmkorff, un auxiliaire des plus avantageux.

Ainsi, pour allumer un bec de gaz à distance, pour envoyer des signaux d'alarme à l'armée, ou même pour défendre certaines issues fermées, l'entrée d'une grille par exemple, on peut employer la machine de Ruhmkorff. Dernièrement un officier espagnol l'utilisait pour prévenir les accidents des chemins de fer[1]. Je n'insisterai pas sur ces

1. J'ai fait établir il y a deux ans, dans ce but, un système d'appareils qui fonctionne de la manière la plus satisfaisante, et qui est décrit dans le deuxième volume de mon exposé des applications de l'électricité.

différentes applications, car elles pourraient être si nombreuses que je m'écarterais, en les décrivant, du but que je me suis proposé; d'ailleurs, pour peu qu'on comprenne les instructions que nous avons données, la manière d'appliquer l'appareil se devine aisément. Ainsi, l'on saura que pour empêcher une grille d'être franchie, il suffit de mettre cette grille en rapport avec l'un des pôles de l'appareil de Ruhmkorff tandis que l'autre pôle communiquera avec une plaque métallique placée devant la grille; alors ceux qui viendraient pour forcer cette grille auraient bien vite lâché prise en y touchant; l'on saura encore que pour mettre une porte dans le même cas qu'une grille il suffit de coller sur cette porte une feuille de papier d'étain; que pour allumer un bec de gaz il faut placer au-dessus du bec deux fils de platine en rapport avec les deux pôles de l'appareil; que pour donner des signaux d'alarme sur les chemins de fer il faut mettre chaque convoi portant des fusées en rapport avec un circuit, etc., etc.

LISTE

DES EXPÉRIENCES LES PLUS CURIEUSES A REPRODUIRE AVEC LA MACHINE DE RUHMKORFF

ET INSTRUCTIONS POUR LA MANIPULATION

Règlement de l'appareil. — Prendre pour rhéophores du courant induit des fils recouverts de gutta-percha de 1 mètre à 1 mètre 1/2 de longueur. — En faire autant, quand on veut réagir sur l'extra-courant. — Bien décaper les contacts de platine de l'interrupteur, en les frottant sur du papier à émeri très-fin. — Le marteau se démonte en retirant le fil d'argent qui le tient à son support, et pour dégager l'enclume il suffit de dévisser la vis A (fig. 3) qui maintient son ressort collé sur la bande métallique communiquant au commutateur. — Éloigner le plus possible le marteau du fer électro-aimant, au moyen de la vis C. — Si l'étincelle de l'interrupteur est trop brillante, resserrer les vis de la planche qui sert de fond au support de l'appareil, et sur laquelle est placé le condensateur. — Éviter la rouille et la poussière. — Resserrer les vis des deux équerres du commutateur, si celui-ci est trop libre.

EXPÉRIENCES.

1° *Inégal pouvoir calorifique des deux pôles du circuit.* (MASSON, NEEF, DESPRETZ.)

Introduire dans les boutons d'attache du courant induit deux bouts de fil de fer assez gros. — Enrouler en spirale sur ces rhéophores d'autres bouts de fil de fer très-fin et *bien décapé.* — Présenter, à un millimètre environ l'une de

l'autre, les deux extrémités de ces petits fils de fer. — Tourner le commutateur. — On voit alors un des fils qui rougit et qui brûle, tandis que l'autre s'échauffe à peine. — Comme l'un des pôles du circuit induit (celui qui est à gauche de la bobine[1]) ne fournit pas de l'électricité de grande tension, on peut, sans inconvénient, prendre avec les doigts le fil de fer qui tient à ce pôle. Il n'en est plus de même à l'autre pôle.

2° *Provocation de l'étincelle de la part du circuit inducteur et au travers des vases de verre ou de porcelaine de la pile. — Deux expériences.* (TH. DU MONCEL, MASSON.)

1° Prendre le rhéophore de gutta-percha qui est en rapport avec le pôle extérieur du circuit (celui à droite de la bobine), l'approcher des lames conductrices du courant inducteur ou des vases extérieurs de la pile, et l'étincelle s'échangera avec lui, comme si on lui présentait l'autre rhéophore. — 2° Prendre le rhéophore en rapport avec le pôle intérieur du circuit (celui de gauche de la bobine), l'approcher du fil de la bobine, et aussitôt l'étincelle sortira à travers la gomme laque qui recouvre ce fil.

3° *Provocation de l'étincelle de la part du pôle extérieur du circuit induit avec un conducteur isolé du circuit.*

Présenter successivement aux deux pôles du circuit induit un bout de fil recouvert de gutta-percha et entièrement libre, on verra alors l'étincelle s'échanger entre le pôle de droite et ce fil, tandis que rien de semblable n'aura lieu à l'autre pôle.

1. Nous entendons, par gauche et droite de la bobine, la gauche et la droite d'un personnage couché sur cette bobine en regardant l'interrupteur.

4° *Augmentation de l'étincelle électrique par l'interposition de condensateurs supplémentaires.* (MASSON, GROVE.)

Prendre un condensateur en verre, soit bouteille de Leyde, soit jarre, soit condensateur carré, pourvu que le verre ne soit pas trop épais, le placer ou non sur un support isolant, et en faire communiquer les deux armures avec les pôles du circuit induit. — Faire communiquer ces mêmes armures avec les deux branches d'un excitateur à support isolant, et l'on observe entre les boules de cet excitateur, si l'espace qui les sépare offre une résistance moindre que le fil du circuit induit, une étincelle volumineuse très-blanche et très-énergique. — *Proportionner la grandeur du condensateur au nombre d'éléments de pile employés.* — On peut encore augmenter, mais plus faiblement, l'énergie du courant induit en ajoutant un deuxième condensateur au courant inducteur. — Il suffit, pour cela, d'établir une communication entre les armures de ce condensateur et les deux boutons d'attache de l'extra-courant.

5° *Augmentation de l'étincelle par l'interruption du courant inducteur entre les pôles d'un fort électro-aimant.* (M. RYKE.)

Retirer le marteau de l'interrupteur. — Prendre les rhéophores de l'extra-courant, et interrompre, à la main, le courant inducteur entre les deux pôles de l'électro-aimant de Ruhmkorff, dans l'appareil pour la polarisation magnétique de M. Faraday. — On trouve alors une augmentation considérable de tension dans l'étincelle échangée de la part du circuit induit. Du reste, cette augmentation vient en partie de ce que le courant inducteur est interrompu plus lentement qu'avec le mécanisme vibrant.

6° *Augmentation de l'étincelle par la réunion de plusieurs*

appareils d'induction. — Trois expériences. (MM. RUHMKORFF, MASSON, QUET.)

1° Réunir les circuits inducteurs de deux appareils par un fil reliant les colonnes CC′ (fig. 6). — Poser une barre de fer sur les bouts de fer qui dépassent les bobines du côté du commutateur. — Enlever le marteau interrupteur d'un des appareils. — Mettre le bouton d'attache A de l'extra-courant du premier appareil en rapport avec l'un des pôles de la pile. — Unir le bouton d'attache B′ du deuxième appareil à l'autre pôle de la pile. — Attacher les rhéophores du circuit induit, l'un à la colonne E du premier appareil, l'autre à la colonne I′ du deuxième appareil. — On a alors une étincelle énergique, ayant une égale tension à ses deux pôles, c'est-à-dire que, dans ce cas, les deux rhéophores peuvent fournir une étincelle à distance, en la provoquant avec un conducteur isolé du circuit. — Inutile de dire que, dans cette expérience, les commutateurs des deux appareils n'ayant aucune fonction à remplir, ne doivent être inclinés ni d'un côté ni de l'autre.

2° Adapter à chacun des deux appareils une pile particulière, réunir le pôle intérieur (de gauche) du premier appareil au pôle extérieur (de droite) du deuxième appareil, et placer les rhéophores aux deux pôles restants. — On a alors un courant induit d'une excessive tension, puisqu'il résulte d'un accouplement en tension.

3° Réunir ensemble, avec la disposition précédente, les deux pôles extérieurs et les deux pôles intérieurs, et l'on a un courant induit de quantité.

7° *Insufflation de l'étincelle échangée entre deux fils métalliques : 1° avec un soufflet : 2° avec le souffle. — Trois expériences.* (TH. DU MONCEL.)

Adapter aux deux pôles de l'appareil deux petits bouts

de fil métallique très-fort que l'on recourbe pour que leurs extrémités ne soient éloignées l'une de l'autre que d'un demi-centimètre. — Appuyer solidement un soufflet sur la table où est placé l'appareil, souffler sur l'étincelle le plus près et le plus fort possible ; on voit alors une large nappe de lumière violette projetée derrière les traits de feu et sillonnée de petites éclairs en zigzags. Si on souffle légèrement, l'atmosphère qui entoure les traits de feu de l'étincelle est seule projetée et ne présente pas de zigzags de feu.

L'expérience de l'insufflation, quand les rhéophores sont des liquides, est suffisamment expliquée page 27.

8° *Aspect de l'étincelle au milieu de la flamme d'une bougie. — Sa courbure quand elle est échangée dans le voisinage de cette flamme. — Son allongement quand la flamme est interposée entre les deux rhéophores. — Trois expériences.* (Th. du Moncel, Grove.)

Adapter aux pôles de l'appareil deux fils de fer d'assez grosse section pour pouvoir se soutenir eux-mêmes. — Les recourber de manière à ce que les deux bouts soient à la hauteur de la flamme de la bougie et que l'étincelle puisse s'échanger dans la partie obscure de la flamme ; on voit alors un globe de feu blanc traversé de temps à autre par des traits de lumière bleue. — Pour suivre la courbure de l'étincelle échangée dans le voisinage de la flamme, il suffit simplement d'écarter la bougie, de manière à laisser les rhéophores au dehors de la flamme. — Pour que l'expérience soit plus visible, il faut régler la hauteur de l'étincelle de manière à ce que sa courbure se fasse au travers de la partie bleue de la flamme, comme on le voit dans la fig. 11. Pour la troisième expérience, il suffit de tenir à la main les deux rhéophores, et d'interposer la flamme entre les extré-

mités du fil d'où l'étincelle doit jaillir. On s'assure, en mesurant la distance d'explosion dans ce cas et en la comparant à la longueur de l'étincelle à l'air libre, que la flamme facilite considérablement la décharge.

9° *Différents aspects de l'étincelle d'induction, suivant qu'elle est provoquée* 1° *sur des surfaces métalliques polies, oxydées, salies ou non polies ;* 2° *sur des surfaces liquides;* 3° *sur des substances carbonisées. — Différence des effets lumineux aux deux pôles. — Cinq expériences.* (TH. DU MONCEL.)

1° Prendre une bande de cuivre légèrement oxydée ou bien salie avec de la poussière de la terre ou toute autre substance. — Placer l'un des rhéophores sous cette bande métallique et exciter l'étincelle avec l'autre rhéophore. On voit alors que l'étincelle présente un effet différent suivant la nature des pôles et tel qu'il est indiqué fig. 12. — Pour avoir de beaux anneaux colorés sur des surfaces polies, prendre des lames de plaqué d'argent, en mettre une en rapport avec l'un des rhéophores et approcher l'autre rhéophore de la plaque;

2° Plonger dans l'eau, que l'on aura mise dans un verre, l'un des rhéophores, et exciter l'étincelle avec l'autre à une distance de 3 ou 4 millimètres. — Opérer la permutation des pôles, et on a successivement les aspects représentés fig. 14;

3° Prendre deux morceaux de charbon de bois de chêne que l'on a enlevés encore rouges au foyer, les laisser refroidir, et enlever la légère couche de cendre qui s'est formée; en les maintenant à une distance d'environ 2 millimètres l'un de l'autre, après les avoir mis en rapport avec les rhéophores, on voit un point de lumière rayonnante au pôle négatif et une lueur rouge au pôle positif. Pour obtenir

ce point de lumière électrique avec de la basane ou du liége, on trempe ces substances dans de l'acide sulfurique; quand elles sont noircies, on les met sécher pendant un ou deux jours. Alors en appuyant le rhéophore négatif sur ces substances ainsi carbonisées, et en excitant l'étincelle avec l'autre rhéophore, on obtient un point très-brillant de lumière électrique.

10° *Expérience de M. E. Becquerel sur la recomposition des éléments de l'air sous l'influence du courant induit.*

Prendre un bout de tube dont on ferme les extrémités à la lampe, et à l'intérieur duquel on introduit deux bouts de fils de platine, fixer les extrémités de ces fils à environ 2 millimètres l'une de l'autre, et au bout d'un quart d'heure ou une demi-heure d'électrisation, suivant la capacité du tube, on voit celui-ci rempli de vapeurs rutilantes (fig. 16).

11° *Formation de l'ozone par les courants induits. — Deux expériences.* (MM. E. BECQUEREL et FREMY.)

Suffisamment expliquées page 37.

12° *Étincelles d'induction dans les liquides : 1° dans les liquides mauvais conducteurs; 2° dans les liquides bons conducteurs. — Quatre expériences.* (MM. MASSON, GROVE, QUET, DU MONCEL.)

Suffisamment expliquées page 38 et suivantes.

13° *Conductibilité propre de l'alcool (sans décomposition) pour les courants induits.* (MASSON.)

Suffisamment expliquée page 43.

14° *Manière de rendre les corps secs bons conducteurs, 1° par*

plaques, 2° par les liquides conducteurs. — Deux expériences. (TH. DU MONCEL.).

Attacher une plaque métallique à l'un des pôles de l'appareil et la laisser appuyer sur le plancher ou sur le corps à travers lequel on veut faire passer le courant. Appliquer sur ce même plancher ou sur ce corps, à une distance quelconque, une autre plaque métallique. Cette dernière plaque peut échanger l'étincelle avec le second rhéophore comme si le premier rhéophore eût été en communication directe avec cette plaque. Mêmes effets en remplaçant les plaques par de petites flaques d'eau.

15° *Danse de la limaille de cuivre entre deux lames de verre. — Ccharge d'une lame métallique également interposée entre deux lames de verre. — Deux expériences.* (TH. DU MONCEL.)

1° Munir chacune des deux lames de verre d'une feuille de papier d'étain, placer la limaille de cuivre entre les deux surfaces de verre, et séparer celles-ci en soulevant seulement d'un côté l'une des deux lames. Quand les deux feuilles métalliques sont en rapport avec les rhéophores, la limaille se met à danser entre les deux surfaces de verre, comme on le voit (fig. 25).

2° La disposition de l'expérience pour charger une lame métallique à travers deux lames de verre est indiquée fig. 24; les bandes noires représentent les lames métalliques, et celle qui est la plus étendue doit être en rapport avec le pôle extérieur du circuit induit devenu pôle négatif.

16° *Pluie de feu entre deux lames de verre. — Rayonnement lumineux autour des lames métalliques apposées sur les verres. — Illumination des liquides conducteurs. —*

Différence d'action des deux pôles. — Quatre expériences. (TH. DU MONCEL, POGGENDORFF.)

Ces expériences, suffisamment décrites pages 45, 46 et suivantes, sont représentées fig. 26, 28 et 29. Dans la fig. 26, qui représente la pluie de feu, les raies noires représentent les lueurs bleues qui se trouvent entre les lames métalliques et les surfaces isolantes. La fig. 29 a été gravée en sens inverse de son apparence, c'est-à-dire que l'M et l'aigrette devraient paraître lumineuses sur un fond noir.

17° *Silhouettes et dessins illuminés sur des lames de verre. — Trois expériences.* (TH. DU MONCEL, GASSIOT.)

1° Découper une silhouette en un dessin quelconque sur du papier d'étain, appliquer cette découpure sur une lame de verre posée sur une large plaque métallique, et mettre ces deux garnitures métalliques en rapport avec les pôles de l'appareil d'induction, de manière que la lame métallique la plus étendue communique au pôle négatif. Dans l'obscurité, ces découpures se détachent en noir sur un fond de lumière bleue, qui paraît rayonnante.

2° Souffler sur le verre autour de la découpure et on agrandit le champ de lumière.

3° Peindre une lettre ou un contour quelconque avec un pinceau humecté d'eau acidulée, appliquer sur cette lettre ou ce contour ainsi dessinée, le rhéophore positif de l'appareil; mettre la plaque métallique en rapport avec le pôle négatif, et l'on obtient l'illumination du dessin reproduit qui se détache en lumière sur un fond noir.

Pour que les contours du dessin soient très-nets dans cette dernière expérience, il faut prendre plusieurs précautions : il faut d'abord que les contours soient très-déliés et écartés les uns des autres pour que la lumière, en rayonnant, ne les

confonde pas ensemble. En second lieu, il faut que ces contours eux-mêmes soient préalablement découpés avec du papier d'étain et substitués à la plaque métallique elle-même. Supposons qu'on veuille illuminer la lettre M, on découpera cette lettre sur du papier d'étain; on l'appliquera sur une planche de bois, et par-dessus on placera la lame de verre; on calquera ensuite cette lettre sur cette lame de verre en la peignant avec de l'eau acidulée, puis on mettra le papier d'étain et l'eau acidulée en rapport avec les pôles de l'appareil d'induction. La lettre M se détachera alors en lumière sur un fond noir avec des contours très-arrêtés.

18° *Cascade de feu dans le vide. — Deux expériences.* (M. GASSIOT.)

Suffisamment décrites page 50, et représentées fig. 27.

19° *Étincelle d'induction dans le vide. — Lumière rouge au pôle positif, lumière bleue au pôle négatif quand le courant n'a pas à vaincre de résistance. — Lumière bleue aux deux pôles quand on introduit dans le circuit une forte résistance. — Deux expériences.* (MASSON, RUHMKORFF.)

Suffisamment décrites pages 59 et 64.

20° *Lumière rouge stratifiée quand le vide est fait sur des vapeurs combustibles, telles que vapeurs d'alcool, d'essence de térébenthine, de phosphore, etc. — Écartement et rapprochement des boules. — Expériences variées.* (GROVE, RUHMKORFF, QUET, GAUGAIN.)

Pour faire cette expérience avec la vapeur d'alcool ou d'essence de térébenthine, on fait d'abord le vide dans l'œuf électrique; quand il est à peu près fait, on ferme le robinet

de ce récipient, on le dévisse de dessus la machine et on le place au-dessus du goulot d'une bouteille dans laquelle se trouve en très-petite quantité l'alcool ou l'essence. Pour que l'air n'entre pas en trop grande quantité, on a soin avant d'ouvrir le robinet de l'œuf, de serrer avec la main gauche sa garniture et le goulot de la bouteille; on ouvre alors la communication entre l'œuf et la bouteille. Sous l'influence du vide, l'alcool ou l'essence se vaporise, et cette vapeur remplit le ballon; on ferme de nouveau le robinet de l'œuf et on replace celui-ci sur la machine pneumatique. Après avoir fait le vide jusqu'à 2 millimètres, et avoir mis en communication les deux garnitures de l'œuf avec les rhéophores du circuit induit, on voit immédiatement le phénomène se produire sous l'aspect de la fig. 31; toutefois, comme on l'a vu page 56 et suivantes, l'aspect du phénomène varie suivant le rapprochement des boules, suivant la forme et la grandeur de l'œuf, suivant l'état de propreté des boules, suivant que celles-ci sont vernies ou non vernies, suivant la perfection du vide, suivant la force de la pile ou la tension du courant induit, mais ces phénomènes doivent être vus dans une obscurité complète. Avec des boules vernies, un vide très-bien fait, et une forte tension du courant, on peut obtenir des stratifications sans la présence d'aucune vapeur.

21° *Lumière résultant du pôle extérieur du circuit induit. — Manière de la diriger, de la courber. — Deux expériences.* (TH. DU MONCEL, MASSON.)

Pour que ces expériences présentent l'effet que nous avons représenté fig. 30, et surtout pour qu'il se produise des lueurs blafardes à l'intérieur du ballon, il faut que le vide ne soit pas trop parfait; la lumière paraît alors blanche dans l'obscurité complète. Quand le vide est trop bien fait, ou que la tension du courant est trop forte, le courant passe

de préférence par les deux boules en produisant le phénomène ordinaire de la lumière dans le vide, mais affaibli.

22° *Illumination d'un fil de platine. — Double lumière stratifiée. — Extinction de ces lumières avec un vide plus perfectionné. — Deux expériences.* (TH. DU MONCEL.)

Prendre un tube d'eudiomètre, comme le représente la fig. 35, adapter d'un côté à ce tube de cuivre une tige de laiton surmontée d'une boule vernie, — de l'autre un fil de platine très-fin roulé en spirale et terminé par une boule, — faire le vide dans ce tube à 2 millimètres. On voit alors, quand le fil de platine est négatif, une triple lueur bleue couvrir entièrement ce fil, en suivre tous les contours, tandis qu'une lumière rouge ou blanche stratifiée sort de la boule positive. En perfectionnant le vide, une deuxième lumière rouge stratifiée semble ressortir des spires de l'hélice de platine, et avec un vide plus parfait encore ces deux lumières rouges, qui se sont réunies, disparaissent pour laisser la spirale noyée, pour ainsi dire, dans une lueur violette d'un aspect blafard. Il ne reste plus au pôle positif qu'un point de lumière blanche très-brillant, au-dessus duquel se voient parfois quelques petites stratifications blanchâtres ou verdâtres.

23° *Lumières symétriques aux deux pôles de l'œuf, lorsque deux courants induits de sens contraire le traversent en même temps, ou qu'on interpose un condensateur dans le circuit. — Deux expériences.* (MM. MASSON, TH. DU MONCEL, GAUGAIN.)

Suffisamment expliquées page 59.

24° *Variations du mode de propagation des stratifications. — Trois expériences.* (M. GAUGAIN.)

Suffisamment expliquées page 65.

25° *Lumière résultant de l'étincelle condensée. — Sa blancheur dans le vide aux deux pôles du circuit. — Son aspect gazeux, etc.* (MM. Drion, Ruhmkorff.)

Suffisamment expliquée page 58.

26° *Cristallisation du carbone dans le vide sous l'influence des courants d'induction.* (Despretz.)

Voir page 69.

27° *Étincelle d'induction dans le vide barométrique. — Deux expériences.* (M. Masson.)

Pour obtenir des tubes fermés dans lesquels ce vide puisse être fait, M. Masson prend un tube de 1 mètre 20 centimètres de hauteur fermé à l'un de ses bouts et étanglé à environ 25 centimètres de cette extrémité. Il remplit ce tube de mercure et le plonge dans une cuve pleine de ce métal. L'équilibre barométrique s'établit aussitôt, et l'espace de 25 centimètres qui forme la chambre du baromètre est détachée du tube par une fusion à la lampe. Si l'on a eu soin d'introduire avant l'opération deux fils de platine, on se trouve avoir un tube fermé dans lequel existe toujours le vide le plus parfait que nous puissions avoir. Dans ce cas, la lumière électrique qui le traverse paraît blanche, et on peut l'arrêter quand c'est le pôle extérieur du circuit qui la fournit, à telle hauteur que l'on veut avec une bague métallique à travers laquelle passe le tube.

28° *Soupapes électriques de M. Gaugain.*

Expérience suffisamment expliquée page 70.

29° *Illumination du tube électrique.* (Gassiot.)

30° *Allongement de l'étincelle d'induction par l'interposition d'une dorure.* (TH. DU MONCEL.)

Interrompre à la main le courant inducteur, et appliquer les deux rhéophores sur la tranche dorée d'un livre, de manière à ce qu'ils soient autant que possible sur une ligne parallèle aux feuillets de ce livre; on voit alors l'étincelle s'échanger entre les deux rhéophores à une distance qui peut atteindre jusqu'à 80 centimètres si la dorure est neuve. Il faut changer souvent de place les rhéophores, car l'étincelle volatilise la dorure, et celle-ci n'est plus dans les conditions de conductibilité suffisantes pour l'explosion.

On peut reproduire cette expérience d'une manière encore plus belle en faisant éclater l'étincelle sur les ornements dorés d'un livre; mais il faut que ces ornements ne soient pas trop contournés ni trop larges. Dans ce cas ils paraissent dessinés dans l'obscurité par des traits de feu.

Ces expériences ne peuvent pas être reproduites avec les dorures qui couvrent les cadres, parce que le plâtre sur lequel elles sont appliquées a été rendu trop bon conducteur par sa déliquescence dans l'eau, et que cette propriété, comme nous l'avons déjà dit, se trouve conservée longtemps après que le liquide conducteur est évaporé; mais on peut obtenir de belles et brillantes étincelles sur les dorures de ballons en caoutchouc qui servent de jouet aux enfants. Sur ces dorures l'étincelle est en zigzags, parce que le conducteur n'est pas homogène.

31° *Déviations et zigzags de l'étincelle à travers les limailles métalliques, cuivre, zinc, acier. — Trois expériences.* (TH. DU MONCEL.)

Pour que ces effets se montrent dans tout leur développement, il faut que les limailles ne soient pas trop fines, et

surtout qu'elles ne soient pas réunies en petits tas. En les tamisant à travers de la grosse mousseline et en n'en répandant qu'une très-légère couche, on peut obtenir des étincelles continues du plus bel effet. Il suffit pour cela d'appliquer à environ 10 centimètres l'un de l'autre sur la couche de limaille les deux rhéophores, de manière à exciter l'étincelle avec l'un des deux. Avec la limaille de laiton, les zigzags de l'étincelle paraissent verdâtres; avec la limaille de zinc, ces zigzags paraissent bleus; enfin, avec la limaille d'acier, ces zigzags paraissent rouges en lançant sur tout leur parcours des étoiles de feu.

32° *Attraction exercée par les courants d'induction sur la limaille de laiton. — Répulsion exercée sur la poussière de charbon.— Deux expériences.* (TH. DU MONCEL.)

Cette expérience est assez délicate. Il faut pour qu'elle réussisse, d'abord que la force du courant ne soit pas trop grande, en second lieu que la limaille ne soit ni trop grosse ni trop fine.—Il faut s'arranger de manière à ce que l'étincelle n'éclate pas à l'extrémité des rhéophores, ce que l'on obtient en enfonçant le rhéophore, avec lequel on expérimente, dans la limaille elle-même. En s'y prenant avec soin, et en soulevant légèrement ce rhéophore, on entraîne avec lui de petits chapelets de grains de limaille qui semblent distribués sur le tas comme les racines d'un arbre. Tant que l'étincelle n'éclate pas entre les grains de ces chapelets, la houppe qu'on soulève continue à s'allonger; mais aussitôt que l'étincelle part, tous ces chapelets retombent, et il faut recommencer l'expérience.

Avec le charbon le phénomène est précisément inverse; mais, pour qu'il soit bien manifeste, il faut que le charbon soit peu conducteur : il faut prendre, par exemple, du charbon de bois de chêne, que l'on a retiré incandescent du

foyer, et que l'on a pulvérisé étant encore rouge; il suffit alors de plonger dans cette poussière l'un des rhéophores et d'en approcher l'autre. On voit alors, sans qu'il y ait production d'étincelles, les particules de charbon se déplacer comme si on employait un soufflet.

33° *Fusées produites par l'étincelle au travers de la fleur de soufre.* (TH. DU MONCEL.)

Quand on fait passer l'étincelle au milieu de la fleur de soufre, l'atmosphère lumineuse de cette étincelle semble éclater, pour lancer tout autour d'elle des espèces de fusées d'un beau bleu, tandis que le jet lumineux ne semble pas impressionné. Il faut, par exemple, pour que cet effet se produise, que l'étincelle soit un peu longue; car, quand elle est trop courte, le soufre fond et brûle immédiatement. Après que l'effet calorifique s'est manifesté, le soufre se trouve repoussé et la place au-dessous de l'étincelle est nettoyée.

34° *Zigzags de l'étincelle produits par l'interposition d'une légère couche d'eau sur une planche vernie. — Éclairs de différentes couleurs. — Éclairs en boule. — Attraction de l'eau. — Trois expériences.* (TH. DU MONCEL.)

On trempe son doigt dans de l'eau naturelle ou acidulée, on le frotte ensuite sur une planche vernie jusqu'à ce que la couche d'eau soit bien divisée par le vernis, et on applique en deux points de cette couche d'eau, éloignés d'environ cinq centimètres, les deux rhéophores. Si les conditions de demi-conductibilité sont bonnes, l'étincelle éclate en décrivant des zigzags plus ou moins multipliés.

Il arrive souvent qu'au commencement de l'expérience on n'obtient pas l'effet voulu, mais il faut toujours continuer en cherchant les points de la couche d'eau les plus

favorables; au bout de quelques minutes la chaleur produite par le courant place elle-même le conducteur secondaire dans les conditions voulues. Il faut, par exemple, faire attention à ce que la couche d'eau soit la plus mince possible et que le vernis de la planche ne la divise pas par flaques. Dans le premier moment les zigzags de l'étincelle paraissent violets; mais, à mesure que la couche d'eau s'évapore, ils deviennent plus blancs, quelquefois même bleuâtres. Quand une flaque d'eau se présente sur le trajet de l'étincelle, avec une solution de continuité, le trait de feu se termine par une boule rouge. Aussi, quand on veut obtenir des éclairs de ce genre qui, comme je l'ai dit dans mon mémoire sur les éclairs, représentent les éclairs en boule, il faut que la couche d'eau soit beaucoup plus épaisse et que le vernis de la planche la divise par flaques.

Les planches vernies sont préférables au verre dans ces expériences, par la raison que ce dernier ne divise pas assez finement l'eau. Il faut même que les planches ne soient pas trop bien vernies pour que l'expérience réussisse; il en est de même quand on veut obtenir l'attraction de l'eau. Ainsi, si vous répandez une goutte d'eau sur du verre, de la porcelaine, ou même une planche bien vernie, la force capillaire paralyse complétement la force électrique. Il faut, dans ce cas, employer du marbre; alors il suffit d'exciter l'étincelle de la part de la goutte d'eau pour que celle-ci suive le chemin qu'on veut lui faire parcourir.

35° *Analyse du spectre de l'étincelle d'induction suivant les différents métaux : 1° à l'air libre; 2° dans les différents gaz; 3° dans les liquides.—Nombre indéfini d'expériences.* (Masson.)

Pour que ces expériences se montrent sous leur plus bel aspect, il est important de bien régler le goniomètre : et

nous allons donner à cet égard quelques renseignements qui pourront être fort utiles.

Le goniomètre de M. Babinet possède, comme on le sait, deux lunettes, l'une fixe, l'autre mobile sur un levier que l'on peut fixer au moyen d'une vis de pression. Pour adapter cet instrument à l'expérience de M. Masson, on commence d'abord par enlever l'étui mobile de la lunette fixe pour lui substituer un autre étui muni d'une fente très-étroite, puis on fait glisser sur le corps de la lunette un disque noir disposé à cet effet, comme on le voit dans la fig. 40.

Quand cette opération est terminée, on prend le goniomètre et on tourne la lunette mobile, de manière à voir au travers les objets extérieurs; on recule ou on avance le premier étui jusqu'à ce que les fils croisés soient parfaitement distincts, puis on vise un objet placé à une très-grande distance, une tige de paratonnerre, un tuyau de cheminée, ou un clocher, par exemple; on règle alors le second étui de la lunette jusqu'à ce que cet objet éloigné soit à son point, c'est-à-dire le plus net possible. On retourne ensuite, sans la déranger, la lunette mobile, et on la place dans le prolongement de la lunette fixe pour viser la fente. Il faut, pour que l'appareil soit bien réglé, que cette fente paraisse très-nette, ce que l'on obtient en enfonçant ou en reculant plus ou moins l'étui qui la porte.

Quand le règlement de l'instrument est ainsi effectué, on fixe le prisme en flint sur le miroir mobile qui occupe le centre du goniomètre avec de la cire molle. On s'arrange de manière que cette cire molle ne couvre pas entièrement le miroir, afin que l'une des arêtes du prisme puisse être vue par réflexion. Si cette arête, ainsi vue par réflexion, se trouve sur le prolongement de l'arête naturelle, le prisme est bien perpendiculaire au plan du cercle, et par conséquent se trouve dans de bonnes conditions pour l'effet

lumineux que l'on veut observer. On place alors le prisme, que nous supposons être équilatéral, de manière à ce qu'une de ses faces soit à peu près parallèle à la direction du pinceau de lumière [1] passant par la fente. Ce pinceau de lumière tombe donc sous un angle de 30° sur l'une des faces du prisme; c'est à peu près l'angle convenable pour obtenir le minimum de déviation; cependant, comme cet angle varie avec la nature du prisme, il importe de trouver par l'expérience cette déviation minimum. Pour cela, on considère d'abord le spectre à l'œil nu, en se plaçant dans la direction des rayons émergents. On tourne alors la glace sur laquelle est placé le prisme jusqu'à ce que le spectre tourne, c'est-à-dire jusqu'à ce que le spectre, au lieu de venir de gauche à droite, semble venir de droite à gauche; un peu avant cette transformation on se trouve avoir atteint le minimum de déviation. Pour obtenir exactement le point, on déplace la lunette mobile jusqu'à ce qu'on perçoive distinctement une des couleurs du spectre; on tourne ensuite très-faiblement le prisme soit d'un côté, soit de l'autre, jusqu'à ce que cette couleur ne se déplace plus sensiblement pour un certain arc décrit, ce dont on peut s'assurer au moyen des fils de la lunette. Quand on est arrivé à ce point, l'appareil est dans les conditions convenables pour l'expérience. Alors on place devant la fente l'excitateur électrique, de manière à ce que l'étincelle éclate précisément à la hauteur du milieu de l'ouverture. On regarde ensuite par la lunette mobile, et on voit les différentes couleurs du spectre sillonnées par les raies brillantes dont nous avons parlé.

Dans les excitateurs construits par M. Ruhmkorff, les deux boules terminales peuvent se dévisser; il ne s'agit donc que d'avoir des boules faites avec les différents métaux que

1. On peut, pour cette expérience préparatoire, prendre la lumière d'une bougie.

l'on veut étudier et de les visser successivement aux extrémités des tiges de l'excitateur pour obtenir les spectres résultant de la fusion électrique de ces métaux. Pour régler cet excitateur, il suffit d'avancer à distance à peu près convenable la tige supérieure, en la faisant glisser dans son étui. Alors on règle au maximum la longueur de l'étincelle en élevant successivement la tige inférieure, au moyen d'une vis de rappel.

La tige supérieure de cet excitateur doit être en rapport avec le pôle extérieur du circuit induit et l'armure isolée du condensateur, tandis que la tige inférieure, qui n'est pas isolée, doit se trouver en rapport avec le pôle intérieur du circuit et l'armure non isolée du condensateur.

36° *Phosphorescence du verre d'Urane. — Multiplicité de ses images.* (FARADAY.)

Suffisamment expliquée page 86.

37° *Phosphorescence du sulfate de quinine. — Illumination par la lumière de l'étincelle dans le vide, de dessins faits avec cette substance et invisibles à la lumière du jour.* (ED. BECQUEREL, STOKES, EISENHLOR.)

Suffisamment expliquée page 87.

38° *Réactions d'induction des courants induits. — Deux expériences.* (TH. DU MONCEL.)

Suffisamment expliquées page 90.

39° *Réactions réciproques nulles entre les courants d'induction.* (TH. DU MONCEL, DESPRETZ.)

Suffisamment expliquée page 90.

40° *Différence de tension entre les courants d'induction et l'électricité des machines.* (TH. DU MONCEL.)

Voir page 91.

41° *Suppression de l'étincelle à l'interrupteur de l'appareil lorsque le courant induit est fermé par un conducteur n'offrant pas une grande résistance.* (TH. DU MONCEL.)

Voir page 93.

42° *Absence d'étincelles au moment de la fermeture du courant inducteur. — Bruit produit dans le fil de la bobine au moment de l'interruption.*

Voir page 93.

43° *Expériences démontrant que les courants induits de l'appareil de Ruhmkorff se propagent comme s'il n'y avait qu'un seul courant de produit.* (POGGENDORFF, TH. DU MONCEL.)

Voir page 93.

44° *Décompositions photo-électriques produites par les courants d'induction. — Trois expériences.* (GROVE, MASSON.)

Voir page 97.

45° *Décompositions polaires des courants d'induction avec séparation des éléments combinés.* (QUET, MASSON.)

Voir page 98.

46° *Oxydations polaires.— Formation d'anneaux colorés.— Six expériences.* (GROVE.)

Voir page 100.

Les expériences que nous venons d'indiquer sont loin de comprendre toutes celles que l'on peut faire avec l'appareil de M. Ruhmkorff, elles peuvent être variées à l'infini, et les chercheurs pourront facilement en découvrir de nouvelles, en répétant avec cet instrument toutes celles qu'on a faites avec l'électricité des machines. Ils pourront, à cet effet, consulter avec avantage le mémoire de M. Percy sur l'électro-statique, publié dans l'*Annuaire météorologique de France*, de 1849; le mémoire de M. Ducis, présenté à l'Académie des sciences dans la séance du 15 mars 1852; les traités d'électricité de MM. Becquerel, de Delarive; les *Archives de l'électricité*, etc., etc.

Tout dernièrement M. Poggendorff a publié deux nouvelles séries d'expériences sur les réactions calorifiques de l'étincelle aux différents points de son parcours et sur les variations de la force électrique d'induction, suivant la manière dont sont pratiquées les interruptions du courant inducteur. Nous avons déjà dit que M. Ryke avait étudié cette dernière question et avait reconnu que la force du courant induit augmentait quand l'interrupteur était placé entre les pôles d'un fort électro-aimant. M. Poggendorff prétend qu'on peut obtenir le même effet en plaçant l'interrupteur sous le récipient de la machine pneumatique dans lequel le vide a été pratiqué. Il est bien difficile d'apprécier les causes qui peuvent agir sur ces phénomènes; mais je crois aussi que la constatation de ces variations d'intensité électrique est tellement délicate et dépend de tant de circonstances accidentelles, qu'il est bien difficile de les attribuer exclusivement à telle ou telle condition physique dans laquelle on s'est placé.

Nous dirons enfin, en terminant, que M. Ruhmkorff

construit en ce moment, pour le gouvernement sarde, des appareils de très-grandes dimensions. Il sera curieux de voir dans quel rapport et jusqu'à quelle limite peut croître la force inductrice, eu égard à la quantité de fil enroulé.

PARIS. - IMPRIMERIE DE J. CLAYE, RUE SAINT-BENOIT, 7.

APR 1 0 1965

APR 1 6 1925